

HENRIQUE RUFINO ROSA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO  
MULTIFAMILIAR POR MEIO DA INI-R**

FLORIANÓPOLIS

2018



HENRIQUE RUFINO ROSA

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO  
MULTIFAMILIAR POR MEIO DA INI-R**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em  
Engenharia Civil do Centro Tecnológico da  
Universidade Federal de Santa Catarina como  
requisito para a obtenção do Título de Bacharel em  
Engenharia Civil

Orientador: Prof. Roberto Lamberts, PhD.

Coorientadora: Eng. Civil Ana Paula Melo, Dra.

FLORIANÓPOLIS

2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Rosa, Henrique

Avaliação da eficiência energética de uma edificação multifamiliar por meio da INI-R / Henrique Rosa ; orientador, Roberto Lamberts, coorientadora, Ana Paula Melo, 2018.

72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Eficiência Energética em Edificações. 3. Instrução Normativa Inmetro para Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. 4. Medidas de Eficiência Energética. I. Lamberts, Roberto . II. Melo, Ana Paula. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

Henrique Rufino Ross

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA EDIFICAÇÃO  
MULTIFAMILIAR POR MEIO DA INI-E**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado em sua forma final pelo Programa de Graduação de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 09 de novembro de 2018.



Profa. Luciana Rohde, Dra.

Coordenadora do Curso de Engenharia Civil

**Banca Examinadora:**



Prof. Roberto Lamberts, PhD

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Michele Fossati, Dra.

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Luis Alberto Gómez, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado à minha família e aos meus amigos.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a minha família, meus pais Ana e Luiz, minha irmã Mariana, que sempre apoiaram minhas decisões, inclusive na de mudar de cidade para estudar na UFSC.

Aos meus amigos da Red House Bartira, inclusive à Shiva e à Charas, por todos os momentos de descontração e camaradagem.

À Universidade Federal de Santa Catarina, instituição gratuita e de excelência na qual eu tive a honra de estudar.

Ao professor Roberto Lamberts por todo conhecimento passado. À Ana Paula pela paciência e auxílio ao longo deste trabalho.

Por fim, agradeço a todas pessoas que de alguma forma me ajudaram durante esses anos incríveis da minha graduação.

Para mim, é muito melhor compreender o universo como ele realmente é do que persistir no engano, por mais satisfatório e tranquilizador que possa parecer.  
(Carl Sagan)



## RESUMO

Este trabalho analisou o desempenho energético da envoltória de um prédio residencial multifamiliar de alto padrão em Florianópolis. Todos os ambientes de permanência prolongada das 12 unidades habitacionais da edificação foram estudados. Para isso foi utilizado o método simplificado da Instrução Normativa Inmetro para Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Por meio do metamodelo oferecido pelo método foram calculadas as cargas térmicas das áreas de permanência prolongada, sendo utilizados como dados de entrada características das unidades habitacionais, como suas dimensões, orientações e propriedades térmicas dos materiais utilizados. As cargas térmicas da edificação na condição base foram comparadas com a da edificação na condição de referência, que tem características pré definidas pelo método. Com os resultados do metamodelo foi analisado quais apartamentos precisariam de alterações para que alcançassem o nível máximo de eficiência energética. Observando as cargas térmicas de cada APP foi possível decidir mais precisamente quais delas precisariam de alterações e que alterações seriam mais impactantes. As propostas de medidas de eficiência energética se resumiam em alterar a envoltória da edificação de maneira mais simples possível, fazendo com que a mesma chegasse ao nível máximo de eficiência energética. Em alguns casos a redução da carga térmica, em comparação com a condição de referência, passou de valores próximos a 70% para valores próximos a 90%. Alcançado o nível máximo para todos os apartamentos, foi feita uma análise de viabilidade para a aplicação das medidas de eficiência energética por meio do *payback* corrigido e da taxa interna de retorno. Para todos apartamentos os investimentos tiveram retorno em pelo menos cinco anos e apresentaram uma taxa interna de retorno entre 6% e 30%. Todas as alterações propostas, utilização de cores claras na cobertura e emprego de venezianas nas janelas, se mostraram viáveis economicamente.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética em Edificações. Instrução Normativa Inmetro para Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais. Medidas de Eficiência Energética.

## ABSTRACT

This paper analyzed the energetic performance of the envelope of a high-standard multifamily residential building in Florianópolis. All the environments of prolonged stay of the twelve housing units of the building were studied. For this, the simplified method of the Normative Instruction Inmetro for Class of Energy Efficiency of Residential Buildings was used. Through the metamodel provided by the method were calculated the thermal loads of the areas of prolonged stay, being used as input data characteristics of housing units, as their dimensions, bearings and thermal properties of the materials used. The thermal loads of the building in the base condition were compared with the thermal loads of the building in the reference condition, which has characteristics pre-defined by the method. With the results of the metamodel it was analyzed which apartments would need changes in order to reach the maximum level of energy efficiency. By observing the thermal loads of each area of prolonged stay it was possible to decide more precisely which ones would need to be altered and which changes would be more impacting. These proposals were made to change the envelope of the building in the simplest way possible, making it reach the maximum level of energy efficiency. In some cases the reduction of the thermal load, compared to the reference condition, went from values close to 70% to values close to 90%. Once the maximum level was reached, a financial feasibility analysis was performed for the application of energy efficiency measures through corrected payback and internal rate of return. For all apartments, the investments returned for at least five years and showed an internal rate of return between 6% and 30%. All proposed changes, the use of light colors on the roof and the use of window blinds, were economically viable.

**Keywords:** Building Energy Efficiency. Normative Instruction Inmetro for Energy Efficiency Class of Residential Buildings. Energy Efficiency Measures.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Projeção do consumo energético residencial, em % .....	20
Figura 2 - Perspectiva da edificação .....	32
Figura 3 - Planta baixa do primeiro pavimento .....	33
Figura 4 - Planta baixa do segundo e terceiro pavimentos .....	33
Figura 5 - Planta baixa da cobertura .....	34
Figura 6 - Dados de entrada do apartamento 303 .....	37
Figura 7 - Limites para classificação da envoltória .....	38
Figura 8 - Representação do fluxo de caixa .....	39
Figura 9 - Resultados da classe de eficiência energética da envoltória de cada UH do edifício base .....	41
Figura 10 – Resultados das envoltórias das APPs do primeiro pavimento .....	43
Figura 11 - Resultados das envoltórias das APPs do segundo pavimento .....	44
Figura 12 – Resultados das envoltórias das APPs do terceiro pavimento .....	45
Figura 13 – Resultados das envoltórias das APPs do primeiro pavimento com venezianas ....	46
Figura 14 – Resultados das envoltórias das APPs do segundo pavimento com veneziana .....	47
Figura 15 – Resultados das envoltórias das APPs primeiro pavimento com veneziana .....	47
Figura 16 – Resultados das envoltórias das UHs com venezianas .....	48
Figura 17 - Resultado das envoltórias das APPs com telha de fibrocimento branca .....	49
Figura 18 – Resultados das envoltórias das UHs com todas as alterações .....	49
Figura 19 - Investimentos .....	51
Figura 20 - Ganhos financeiros .....	51
Figura 21 - Fluxo de caixa .....	52
Figura 22 - TIR .....	52
Figura 23 – Dados de entrada do apartamento 101 .....	61
Figura 24 - Dados de entrada do apartamento 102 .....	61
Figura 25 - Dados de entrada do apartamento 103 .....	63
Figura 26 - Dados de entrada do apartamento 104 .....	64
Figura 27 - Dados de entrada do apartamento 201 .....	65
Figura 28 - Dados de entrada do apartamento 202 .....	66
Figura 29 - Dados de entrada do apartamento 203 .....	67
Figura 30 - Dados de entrada do apartamento 204 .....	68

Figura 31 - Dados de entrada do apartamento 301 .....	69
Figura 32 - Dados de entrada do apartamento 302 .....	70
Figura 33 - Dados de entrada do apartamento 303 .....	71
Figura 34 - Dados de entrada do apartamento 304 .....	72

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

APP – Ambiente de Permanência Prolongada

BEN - Balanço Energético Nacional

BREEAM – Building Research Establishment Environmental Assessment Method

CASBEE – Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency

CB3E – Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações

CgTA - Carga Térmica para Aquecimento

CgTR - Carga Térmica para Resfriamento

COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social

CONPET - Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e Gás Natural

COP - Coeficiente de Performance

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

GLP - Gás Liquefeito de Petróleo

HIS - Habitação de Interesse Social

HQE – Haute Qualité Environnementale

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias

INI-R - Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

LEED – Leadership in Energy and Environmental Design

MEE - Medidas de Eficiência Energética

MME - Ministério de Minas e Energia

NBR – Norma Brasileira

PBE - Programa Brasileiro de Etiquetagem

PHOCT – Percentual de Horas Ocupadas com Conforto Total

PIS - Programa de Integração Social

PNE – Plano Nacional de Energia

PROCEL - Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

RAC – Regulamento de Avaliação da Conformidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações

RTQ-C - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos

RTQ-R - Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais

TIR - Taxa Interna de Retorno

TMA - Taxa Mínima de Atratividade

UH- Unidade Habitacional

VPL - Valor Presente Líquido

WORLD GBC- World Green Building Council

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1	JUSTIFICATIVA .....	15
1.2	OBJETIVO GERAL.....	17
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>18</b>
2.1	CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES .....	18
2.2	DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES .....	21
2.3	MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	24
2.4	POLÍTICAS ENERGÉTICAS .....	26
2.5	ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA .....	30
<b>3</b>	<b>MÉTODO.....</b>	<b>32</b>
3.1	CASO BASE.....	32
3.2	INSTRUÇÃO NORMATIVA INMETRO PARA A CLASSE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS .....	35
3.3	MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	38
3.4	ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA .....	39
<b>4</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>41</b>
4.1	RESULTADOS DA EDIFICAÇÃO REAL.....	41
4.2	APLICAÇÃO DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	45
4.3	VIABILIDADE FINANCEIRA DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	50
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>53</b>
5.1	LIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	54
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	54
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>55</b>
	<b>ANEXO I – Dados de Entradas das UHs .....</b>	<b>61</b>





## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 JUSTIFICATIVA

Após as crises do petróleo na década de 70, a eficiência no uso da energia esteve em pauta no mundo, quando ficou claro que o uso de combustíveis fósseis tinha grande prejuízo ambiental e que com o passar dos anos poderia ser inviável economicamente. Assim percebeu-se que inúmeros serviços energéticos poderiam ser proporcionados com menos gasto de energia, com repercussões econômicas, ambientais, sociais e culturais. Fazendo com que equipamentos e hábitos de uso passassem a ser analisados a respeito de sua eficiência energética, comparando seu preço de implantação com a energia economizada pelo equipamento (PNE 2030, 2007).

Na década de 80 e 90, começaram a ser criados programas brasileiros de conservação de energia. Como o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), o CONPET (Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e Gás Natural) e o PBE (Programa Brasileiro de Etiquetagem). Desde 2001, por conta do racionamento de energia elétrica, o governo passou a dar maior atenção à política energética nacional, como a criação da Lei nº 10.295, também conhecida como Lei de Eficiência Energética, que estimula o desenvolvimento tecnológico, a preservação ambiental e a introdução de produtos mais eficientes no mercado nacional (PROCEL, 2014). Além da lei também foi criada a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) que faz estudos e pesquisas destinadas a auxiliar o planejamento energético do setor. Com a criação dessa empresa, pela primeira vez na história, o Brasil conta com um documento que permite estimar a oferta e demanda de energia em um determinado período, e assim podendo traçar estratégias que garantam segurança e qualidade do suprimento energético (BRASIL, 2011).

De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2016 (EPE, 2017), as edificações utilizam 42,8% do total de oferta interna de energia elétrica. O setor residencial é responsável por consumir 21,4% de energia elétrica, tendo um aumento de 1,4% em relação ao ano de 2015, ao contrário do consumo total nacional, que teve uma queda de 0,9%. Segundo o Plano Nacional de Energia 2030 (2007), o setor residencial terá aumento da participação no consumo de energia elétrica em todos os cenários econômicos considerados no estudo. Em 2030, a demanda de energia do setor residencial será entre 24,3% e 28,6%, sendo o setor que mais cresce em todos

os cenários, exceto no economicamente mais otimista onde perde apenas para o setor comercial/público.

Um dos motivos do aumento da demanda energética no setor residencial é a maneira como são projetadas as edificações no Brasil atualmente. Mesmo não sendo as fases do ciclo de vida de um empreendimento com maiores impactos financeiros e ambientais, as etapas de idealização, concepção e projeto são as com maior possibilidade de intervenção no desempenho de uma edificação (MOTTA; AGUILLAR, 2009). O projeto de uma edificação deve levar em conta a eficiência energética da mesma, visto que cada decisão durante o processo de projeto influenciará na utilização do edifício em vários âmbitos. As decisões projetuais devem se basear em conceitos que envolvem a eficiência energética e conforto ambiental e na variedade de alternativas que o projetista pode empregar (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997).

Nesse cenário podemos destacar o emprego de etiquetas, que tem como objetivo valorizar as edificações no mercado por meio do aumento de sua performance. As etiquetas devem fornecer informações claras e detalhadas sobre a performance energética da edificação, permitindo assim uma comparação entre edificações, podendo ser um fator decisivo no momento da compra (CASALS, 2006). No Brasil estão sendo desenvolvidos novos método de etiquetagem para edificações, como o INI-R (Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais), que substituirá o método de etiquetagem vigente, o RTQ-R (Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais).

Para o alcance de um bom nível de eficiência energética em uma edificação, é necessário o emprego de medidas de eficiência energética como uso de materiais com propriedades térmicas específicas, posicionamento geográfico da edificação, aquecimento solar da água, ventilação passiva, integração de energias renováveis, entre outras. Porém, segundo Ganhão (2011), a viabilidade do emprego dessas medidas depende de seus custos, na construção e na venda. Uma medida com bom desempenho ambiental mas com um custo muito acima da técnica construtiva convencional, vem a ser insustentável financeiramente, inviabilizando sua adoção. Para isso é calculado o *payback* de cada medida, que calcula o tempo de retorno do investimento, possibilitando assim julgar sua viabilidade.

Assim nesse trabalho será utilizado o novo método de etiquetagem de edificações residenciais em um edifício localizado em Florianópolis, e com seus resultados serão propostas e testadas medidas de eficiência energética, fazendo também uma análise de viabilidade econômica, por meio do *payback* e da taxa interna de retorno.

## 1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste estudo é avaliar o nível de eficiência energética da envoltória de uma edificação residencial multifamiliar de alta renda localizada em Florianópolis pelo método simplificado da Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R).

## 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular o consumo energético da envoltória de todas unidades habitacionais da edificação e verificar suas classificações de acordo com a INI-R.
- Propor alterações na edificação a fim de alcançar o nível A para sua envoltória.
- Classificar os sistemas após possíveis alterações.
- Calcular o consumo energético da envoltória quando alcançado o nível A.
- Analisar a viabilidade econômica das possíveis medidas de eficiência energética empregadas por meio do *payback*.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES

O crescimento econômico mundial é consequência da adoção de um processo de produção com grande dependência do uso energético. Por isso as políticas energéticas veem ganhando importância, tanto na esfera econômica quanto na ambiental, visto que grande parte da energia consumida atualmente provém de matrizes escassas e danosas ao meio ambiente. Como a população mundial ainda se encontra em crescimento existe uma grande preocupação em relação a esse tema, desde a geração até o consumo energético. No ano de 2016 cerca de 81% da produção de energia no mundo proveio de combustíveis fósseis, tidos como grandes influentes pelo aquecimento global. A produção de energia tende a crescer, visto que muitos países estão começando agora a se industrializar mais intensamente (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2018). Caso alcance a projeção de 9 bilhões de habitantes até 2040, estima-se que o consumo de energia primária mundial aumente cerca de 1% ao ano (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2017). Para efeito de comparação é como se no ano de 2040 em relação a atualmente, fossem adicionados o consumo da China e da Índia ao total mundial (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2017).

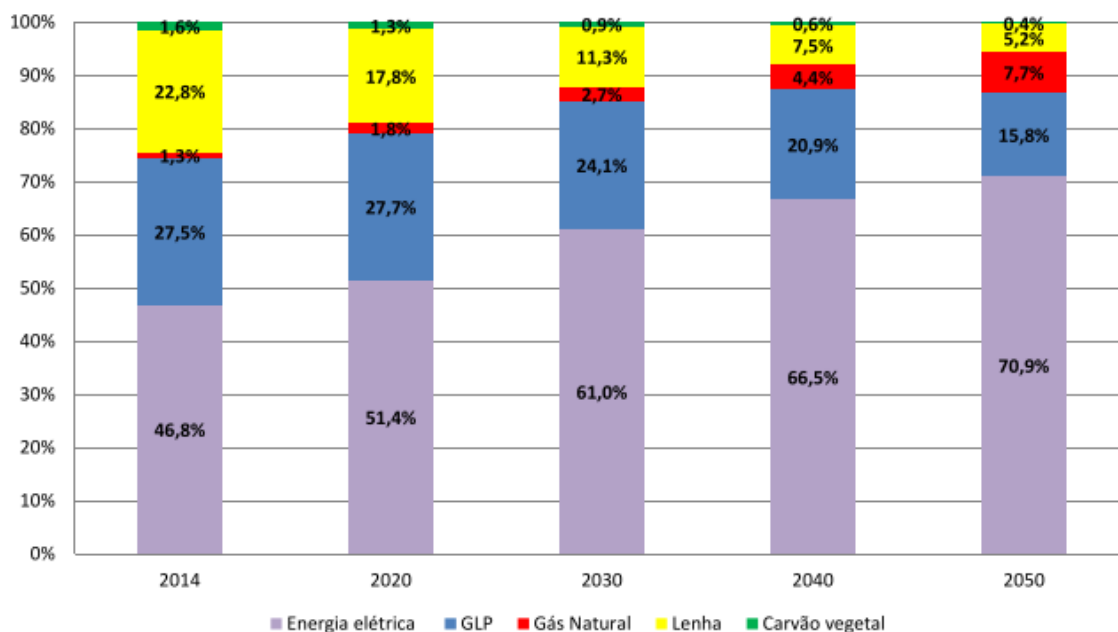
No Brasil a proporção do consumo de combustíveis fósseis é menor que mundialmente. Isso se deve às crises de preços do petróleo no mercado internacional e a abundância de recursos hídricos presentes no país, possibilitando o emprego da matriz hidrelétrica em larga escala, representando aproximadamente 42% da geração de eletricidade nacional. No ano de 2016, segundo o BEN (2017), as duas maiores fontes do consumo final energético brasileiro são os derivados do petróleo (42,6%) e energia elétrica (17,5%). Segundo o PNE 2030 (2007), o setor de energia elétrica no Brasil entre os anos de 2005 e 2030 terá uma taxa média de crescimento do consumo final de 4% ao ano, sendo superior ao crescimento médio do consumo energético nacional. Assim, as demandas energéticas em 2030, para os cenários de menor e maior crescimento, chegarão a valores 134% e 244%, respectivamente, maiores que a demanda de 2005.

Apesar de não derivar principalmente de combustíveis fósseis, a energia elétrica brasileira ainda pode ser considerada insustentável ambientalmente e economicamente. A construção de hidrelétricas causa grande impactos ambientais às áreas de sua instalação, e em muitos casos o local de geração e consumo de energia são distantes, o que gera perdas, que representaram cerca de 16% do consumo final de energia elétrica do país em 2016 (BEN, 2017).

Atualmente, no Brasil os maiores consumidores de energia elétrica são os setores industrial, residencial e comercial, com consumos de 31,5%, 21,4% e 14,4% no ano de 2016, respectivamente (BEN, 2017). Com destaque para o setor residencial que representa um dos setores com maior crescimento na demanda de energia elétrica no Brasil, segundo o PNE 2030 (2007), onde estima-se que a participação do setor será entre 24,3% e 28,7%.

As condicionantes para a demanda de energia em edificações são: a zona em que está localizada a fim de se conhecer suas condições climáticas, os padrões e hábitos de consumo, a eficiência energética dos equipamentos, o entorno construído e a maneira como foi concebido o projeto da edificação (PNE 2050, 2016). De acordo com Villareal e Moreira (2016) as principais variáveis que determinam a longo prazo o consumo energético do setor residencial são a quantidade de moradias no país, a renda familiar, as tarifas elétricas para residências, a propriedade de eletrodomésticos e políticas socioeconômicas. Segundo estimativas, a população brasileira crescerá até aproximadamente o ano de 2062 (PNE 2030). Para o ano de 2030 a população urbana no Brasil terá um crescimento de 16% em relação a população urbana de 2005, e uma taxa de urbanização de 88% (PNE 2030). O setor residencial no ano de 2016 teve como principais fontes de energia: a eletricidade (46%), a lenha (24,4%) e o gás liquefeito de petróleo (26,5%), sendo os dois últimos mais empregados para a cocção de alimentos e aquecimento de água. (BNE,2017). Dentre as fontes energéticas utilizadas nas residências brasileiras a com maior crescimento é a energia elétrica, entre os anos de 2013 e 2050, o consumo total de energia elétrica para o setor será de 170% (PNE 2050, 2016). Como observado na Figura 1, até o ano de 2050 haverá uma diminuição da participação do gás liquefeito de petróleo (GLP) e da lenha no setor residencial, com ganho de importância do gás natural e da eletricidade.

Figura 1 - Projeção do consumo energético residencial, em %.



Fonte: Plano Nacional de Energia 2050 (2016).

Esse aumento no consumo elétrico residencial tem como um dos grandes responsáveis o aumento do poder de compra da população (PNE 2050, 2016). Em 2005, a posse média no Brasil de refrigeradores era de 1,0 equipamento por domicílio e para os freezers a média foi de 0,24 equipamento por domicílio, sendo que para a grande maioria dos casos esses dois equipamentos são usados com intensidade permanente. Além disso 10,5% dos domicílios possuem ao menos um aparelho de ar condicionado e a posse média de televisores é de 1,4 (PROCEL, 2007). Devido a mudança na distribuição de domicílios por faixa, a quantidade de equipamentos elétricos irá aumentar consideravelmente por residência a fim dos consumidores atingirem seu conforto. Isso se confirma nas projeções do PNE 2050 (2016), indicando um crescimento no consumo de energia elétrica para a climatização e entretenimento, com aumentos de, respectivamente, 190% e 220% entre 2020 e 2050. Estima-se que a quantidade de equipamentos de ar condicionado passe de 0,23 por domicílio em 2013, para 1,37 por domicílio em 2050 (PNE 2050, 2016). Em 2050 o Brasil atingirá valores próximos da União Europeia, dados os patamares de consumo de eletricidade e de renda por habitante (PNE 2050, 2016).

## 2.2 DESEMPENHO TÉRMICO E ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES

Com a crescente demanda energética, espera-se que por meio do uso mais eficiente da energia, seja possível em curto a médio prazo reduzir as emissões de carbono a custos baixos ou até mesmo negativos (SORRELL, 2015). Assim destaca-se a importância de analisar profundamente cada escolha durante o projeto de uma edificação, devendo-se considerar as variáveis climáticas aliadas às técnicas renováveis e compatíveis energeticamente (LAMBERTS; GHISI; RAMOS, 2006). Caso o projetista consiga estimar, antes de ser construída, o perfil de demanda energética e o consumo energético de uma edificação, podem ser realizadas alterações a fim de reduzir tanto o consumo energético como os custos operacionais do empreendimento (HERNANDEZ NETO; FIORELLI, 2008). Segundo Gonçalves e Duarte (2006), para o alcance de maior eficiência energética de uma edificação, o projetista deve considerar na fase de concepção os estudos dos seguintes tópicos: orientação solar e dos ventos; forma arquitetônica, localização dos ambientes, definição dos usos e geometria dos espaços internos; características ambientais e climáticas; propriedades térmicas dos materiais empregados; tratamento do exterior da edificação de acordo com a necessidade de proteção solar; definição da localização e dimensão da área de abertura na fachada; escolha dos tipos e dimensões das proteções solares; detalhamento das esquadrias.

A eficiência energética pode ser entendida como a razão entre a saída útil e a entrada de energia em um sistema específico, assim a medição de eficiência energética deriva de como esses dados de energia são medidos e definidos. Sendo assim, alguns dados podem ser mais apropriados para alguns sistemas e fins do que outros (SORRELL, 2015). Existem várias maneiras de se abordar um modelo de edificação a fim de gerar seus ganhos térmicos tanto por fontes externas ou internas para a previsão de seu consumo energético. Desde as mais complexas simulações, que são baseadas em princípios físicos, até simples modelos de regressão linear (HERNANDEZ NETO; FIORELLI, 2008). Para a determinação do desempenho energético de edificações pode ser empregado o uso da simulação computacional, tornando-se possível estimar o consumo de uma edificação com base em suas características arquitetônicas, propriedades térmicas dos materiais empregados, cargas internas instaladas e seus sistemas. São utilizados arquivos com dados climáticos do período de análise da região em questão, assim possibilitando a representação das condições externas à edificação, como umidade, temperatura do ar, ventos e radiação (MENDES et al., 2005). Geralmente a avaliação é realizada pela comparação entre os consumos energéticos de um mesmo modelo com suas

características primárias mantidas, sendo alteradas suas características secundárias. Entende-se como características primárias sua forma, dimensões da edificação, cargas internas, padrão de uso e tipo de condicionamento de ar. As características secundárias, que variam entre os modelos, são características como propriedades térmicas dos materiais empregados, tipos de esquadrias e proteções solares (CARLO, 2008). Segundo Mendes et al. (2005) as ferramentas de simulação devem ser incorporadas à rotina de projeto de escritórios de arquitetura e engenharia a fim de auxiliar nas escolhas projetuais com o objetivo de respeitar normas de eficiência e também projetar edificações com elevado nível de eficiência energética.

Por conta da falta de mão de obra capacitada, dos custos de hardware e softwares e, principalmente, a imprecisão ou falta de informações necessárias para os dados de entrada, o uso de simulações computacionais nem sempre é possível. Segundo Jaffal e Inard (2017), uma simulação baseada na análise detalhada de transferência de calor tem resultados com precisões satisfatórias, porém esse processo pode levar muito tempo quando são avaliados um grande número de dados de entradas da edificação. Nesse cenário, foram criados métodos mais simples de avaliar o desempenho energético de edificações, como os metamodelos, que se baseiam em um grande banco de dados de simulações computacionais, e com esses dados os metamodelos são desenvolvidos a partir de modelagens estatísticas. Os metamodelos frequentemente adotam presunções quanto aos dados de entrada e ao clima, assim sendo possível ter como resposta resultados próximos aos das simulações de maneira fácil e rápida (OLINGER et al., 2017).

A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) atual utiliza, para o seu método prescritivo, metamodelos baseados em regressões lineares múltiplas, que definem condições de contorno relacionadas à envoltória da edificação. Os resultados são obtidos por meio de uma correlação entre o consumo energético do edifício e as variáveis influentes. No caso do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R), os metamodelos foram desenvolvidos com base em mais de 180.000 casos simulados no programa EnergyPlus para as 8 zonas bioclimáticas do Brasil, representando mais de 9000h de simulação computacional (FOSSATI et al., 2016). A utilização de um banco de dados grande e com grande variedade, objetiva representar a gama brasileira de edificações residenciais. Em um estudo comparando os resultados do metamodelo presente no RTQ-R atual com simulações, A.P. Melo et al. (2016) constatou que o metamodelo pode gerar resultados precisos para edificações com tipologias mais comuns, similares às adotadas na base de dados, e para tipologias mais complexas ou incomuns, o ideal seria o método de



simulação. O estudo também foi sugeriu que para aprimorar a precisão dos resultados poderia ser utilizado um metamodelo baseado em redes neurais artificiais.

As redes neurais podem ser entendidas como inúmeros modelos matemáticos simples que tem como objetivo simular o funcionamento da rede neural do cérebro humano. Esses modelos se destacam por apresentarem um processo chamado “treinamento em rede”, que se baseia na capacidade de aprender padrões ou regras, com base em situações já previamente conhecidas, que controlam os fenômenos físicos considerados em cada caso, assim podendo extrapolar resultados (HERNANDEZ NETO; FIORELLI, 2008). Segundo Melo (2012) a utilização de redes neurais artificiais vem demonstrando ser uma boa opção para a solução de problemas complexos, já que auxilia no reconhecimento dos padrões analisados e também possibilita a consideração de diversos parâmetros na análise, já que não existe a linearidade entre variáveis de entrada e saída. Segundo Hernandez Neto e Fiorelli (2008), é essencial a formação de uma boa base de dados já que um modelo de redes neurais somente consegue avaliar o consumo energético de uma edificação com essas informações. Assim após a inserção de dados a uma calibração apropriada, o metamodelo será uma importante ferramenta de prever a demanda energética de edificações.

Ekici e Aksoy (2009) avaliaram a precisão da avaliação de um metamodelo desenvolvido por redes neurais em comparação com uma simulação computacional pelo programa EnergyPlus. Foram estudados três tipos de edificação com a mesma área, porém cada uma apresentava três formatos (A, B e C) e tipos de paredes diferentes. Foram considerados nove orientações diferentes variando entre 0 e 80 graus e todas as edificações estavam submetidas a mesma condição climática. Três dados de entrada foram considerados: refletância, espessura da parede externa e orientação da edificação. Os resultados mostraram que os desvios médios para as necessidades de energia de aquecimento são de 1,48%, 3,64% e 5,16%, para as edificações com formatos A, B e C, respectivamente. Já a precisão para as demandas energéticas de A, B e C, foram de 98,51%, 96,36% e 94,83%, respectivamente. Assim, comprovando que o método usado no trabalho apresentou boa predição do consumo energético de edificações.

Melo (2012) analisou a precisão do metamodelo do método simplificado do RTQ-C e de um metamodelo de redes neurais artificiais para edificações comerciais no Brasil. Seu estudo tinha como um dos objetivos obter os valores de erro médio, desvio padrão e coeficiente de determinação em comparação com os resultados encontrados por meio da simulação

computacional no programa EnergyPlus. Em seu estudo foram usados dados provenientes de CARLO (2008) para a comparação entre o método estatístico de regressão linear e a simulação. Os resultados da regressão linear foram de um  $R^2$  de 0,99 para tipologias com áreas iguais ou inferiores a 500 m<sup>2</sup> e de 0,99 para as tipologias com área de projeção superiores a 500m<sup>2</sup>. Já os resultados obtidos pelo método estatístico de redes neurais foi um  $R^2$  de 0,98 para tipologias com áreas de projeção iguais ou inferiores a 500m<sup>2</sup> e 0,99 para tipologias com área de projeção superiores a 500m<sup>2</sup>. As médias dos erros para tipologias com áreas de projeção menores foi de 2,3 kWh/m<sup>2</sup>.ano e para as tipologias com áreas de projeção maiores foi de 0,7 kWh/m<sup>2</sup>.ano, e seus desvios padrões foram de 4,7 kWh/m<sup>2</sup>.ano e 5,1 kWh/m<sup>2</sup>.ano, para tipologias com áreas menores ou iguais a 500m<sup>2</sup> e maiores que 500m<sup>2</sup>, respectivamente. As médias dos erros e desvio padrão não foram calculados para o método estatístico de regressão linear pois os resultados desse método tem unidades diferentes da simulação, kWh/m<sup>2</sup>.ano. Com esses resultados pode-se concluir que as respostas das redes neurais são precisas, no caso de edificações com áreas inferiores ou iguais a 500m<sup>2</sup> o erro entre a simulação e o método de redes neurais pode apresentar um erro de 2,3kWh/m<sup>2</sup>, sendo esse resultado próximo ou distante em 4,7 kWh/m<sup>2</sup> da média. Os resultados mostraram diferenças significantes entre os resultados obtidos pelo metamodelo de regressão linear e o programa EnergyPlus, porém os resultados do metamodelo de redes neurais apresentaram praticamente os mesmos resultados que o programa de simulação. Concluindo-se que o modelo de regressão linear, diferente do de redes neurais, foi incapaz de reconhecer padrões entre os dados de entrada e os de saída, provando ser menos eficiente para a avaliação de desempenho térmico energético de uma edificação.

### 2.3 MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O consumo energético de uma edificação se dá pelos sistemas que utilizam diretamente energia, os quais são influenciados pelo usuário da edificação e também por variáveis que influenciam esses sistemas, como a envoltória. Dependendo da envoltória, a edificação pode ganhar ou perder calor, o que pode influenciar negativa ou positivamente em seu consumo energético, características que devem ser consideradas em uma envoltória são as suas cores, as propriedades térmicas de seus materiais, exposição ao ambiente externo e sombreamento (CARLO, 2008). Para uma edificação ser considerada eficiente energeticamente é essencial que se projete considerando o clima em que a edificação se localiza, permitindo escolhas mais

corretas quanto aos materiais construtivos e estratégias aplicadas na envoltória (INVIDIATA, 2016).

Soares (2014) avaliou o desempenho termoenergético dos ambientes de dormitório e estar de um edifício residencial multifamiliar com uso de dispositivos de proteção solar. Foram consideradas diversas tipologias de proteções solares para as quatro orientações em sete cidade brasileiras de diferentes Zonas Bioclimáticas. Para essa análise foi utilizado o programa de simulação computacional EnergyPlus, que gerava os resultados referentes ao desempenho termoenergético em graus-hora de resfriamento, que é a somatória da diferença da temperatura horária quando maior que a temperatura de base. Com os resultados foi comparada a variação de graus-hora entre uma fachada sem proteção (caso base) e as fachadas com as diversas tipologias de proteção solar. Uma das tipologias é caracterizada por uma esquadria com três folhas, sendo duas compostas por venezianas e uma envidraçada. O emprego desta medida de eficiência energética para a Zona Bioclimática referente à Florianópolis gerou bons resultados. O emprego de venezianas na Zona Bioclimática 3 para as fachadas Norte, Sul, Leste e Oeste, gerou uma redução em graus-hora de refrigeração de 14%, 11%, 16% e 16%, respectivamente.

Santo (2014) realizou simulações computacionais pelo software DesignBuilder a fim de avaliar o desempenho térmico para o ambiente de dormitório em uma edificação residencial multifamiliar na cidade de Vitória durante o verão. As janelas avaliadas foram com duas folhas de vidro, mais comercializadas, e com três folhas, sendo duas com veneziana e uma com vidro. Foram feitas simulações para as quatro principais orientações. Para avaliar o quão cada modelo é mais eficiente foi analisada a frequência de desconforto térmico e a intensidade de desconforto térmico para as duas situações. A frequência de desconforto térmico média grau para o modelo sem veneziana foi de 99,11% e para a janela com veneziana de 45,74%. As médias de acordo com as orientações apresentaram valores bem próximos. Quanto à intensidade de desconforto térmico média geral, o emprego de venezianas gerou uma redução de 71% de graus horas de desconforto. As orientações que sem mostraram mais críticas foram as Leste e Oeste, com valores similares.

Simas (2009) pesquisou a influência de diversas coberturas no desempenho energético de uma edificação comercial em Natal. Os resultados foram obtidos por simulação computacional com o programa DesignBuilder. A cobertura do caso base é composta por telhas de fibrocimento onduladas e forro de gesso. Uma das alternativas construtivas analisada é a troca da cor das telhas de fibrocimento para branco, alcançando uma absorvância de 20%. Apenas com essa alteração, pôde-se observar uma redução do consumo total anual por área de

110,0 kWh/m<sup>2</sup>.ano para 95,0 kWh/m<sup>2</sup>.ano, o que geraria uma economia de energia de 14% ao ano. Outra medida que gerou os mesmos resultados foi a aplicação de uma telha metálica ondulada em aço galvanizado branca, indicando que a redução da absorvência de uma cobertura é uma boa medida de eficiência energética para o caso estudado.

Rios et. al (2018) estudaram a influência da pintura da cobertura de uma Habitação de Interesse Social (HIS) em seu consumo de energia elétrica. O objeto de estudo localiza-se em Cuiabá, situada na Zona Bioclimática 7. As simulações computacionais foram realizadas para uma edificação base, com cobertura de telhas de barro na cor natural e forro de PVC, e para a mesma edificação com uma pintura branca na cobertura, passando de uma absorvência de 0,8 para 0,2. A transmitância térmica também foi reduzida, de 1,75 W/m<sup>2</sup>K para 1,18 W/m<sup>2</sup>K. As simulações computacionais foram realizadas pelo software EnergyPlus adotando-se os parâmetros definidos no RTQ-R (INMETRO, 2012). A temperatura média anual do caso base foi de 28,62 °C e para a edificação modifica de 27,76 °C. Já o consumo mensal teve uma redução de 3%.

## 2.4 POLÍTICAS ENERGÉTICAS

A partir da década de 70, destaca-se um aumento da preocupação mundial em relação ao meio ambiente devido a deterioração de recursos naturais provocada pelo acelerado desenvolvimento econômico. Dentro desse cenário começaram a ser realizadas convenções internacionais e metas com o objetivo de diminuir o impacto do ser humano sobre o meio ambiente. Como visto anteriormente, um dos grandes responsáveis pelo consumo dos recursos naturais é o setor das edificações, que tem grandes potenciais de redução do consumo de recursos naturais ao se considerar projetos mais sustentáveis, tanto em sua concepção quanto em sua execução e operação. Para acelerar esse processo, muitos países desenvolveram leis e incentivos para edificações com redução dos impactos ambientais. A Europa foi pioneira em relação a aplicação desses certificados, que posteriormente foram difundidos nos Estados Unidos e Canadá e hoje existem em países como Japão, Austrália, México, entre outros. Podemos destacar os já consolidados certificados LEED (Estados Unidos), BREEAM e ECOHOMES (Reino Unido), CASBEE (Japão), HQE (França) e GREEN STAR (Austrália), todos membros do WORLD GBC, o conselho de edificações verdes mundial (LAMBERTS et al., 2008).

Assim como em outros países, no Brasil a questão da redução do consumo de recursos naturais também passou a chamar atenção. Em 1985, foi instituído o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e executado pela Eletrobrás com a finalidade de alavancar o uso eficiente de energia elétrica e combater seu desperdício. Suas ações visam o aumento da eficiência dos bens e serviços, promover a prática de hábitos e conhecimentos sobre o consumo eficiente da energia e garantir investimentos no setor elétrico (BRASIL, 2018). A Lei n 10.295, conhecida como a “Lei de Eficiência Energética”, também tem grande importância nesse cenário, estabelecendo os “níveis máximos de consumo específico de energia, ou mínimos de eficiência energética, de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país” e ainda criando metas para a evolução dos níveis específicos para cada equipamento. A partir dessa lei, o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) passou a se destacar, passando a estabelecer programas de avaliação compulsórios na área de eficiência energética. O programa é coordenado pelo PROCEL e pelo CONPET (Programa Nacional de Conservação do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural) premiando os produtos mais eficientes na etiquetagem do Inmetro, que no ano de 2017 gerou uma economia de 21,1 bilhões de kWh pelos produtos etiquetados.

No âmbito do PBE, foram desenvolvidos o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) em 2009 e o Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (RTQ-R) em 2010 (BRASIL, 2018). Esses regulamentos especificam requisitos técnicos para classificação de edificações com objetivo de criar condições para a etiquetagem de eficiência energética das suas respectivas tipologias (INMETRO, 2010); (INMETRO, 2012). Por ser apenas o começo do programa de etiquetagem de edificações no Brasil, a etiquetagem ainda é voluntária para edificações residenciais, comerciais e de serviços, já para edifícios federais, a etiquetagem é mandatória desde julho de 2014, exigindo o nível máximo (A) para sua construção ou retrofit. A etiquetagem é realizada de duas maneiras, analisando os projetos da edificação e a edificação construída ou verificando apenas o nível de eficiência energética da edificação após construída. O RTQ-R avalia a eficiência energética da edificação em níveis, sendo que as edificações melhores avaliadas recebem o nível “A” e as edificações com pior desempenho recebem o nível “E”. Os sistemas levados em consideração nesta avaliação são a envoltória e o sistema de aquecimento de água da edificação, para cada zona bioclimática esses sistemas tem influência diferente no resultado final da edificação. Além

dessas avaliações a edificação tem que cumprir pré requisitos e pode ganhar bônus para práticas consideradas eficientes energeticamente que não são profundamente avaliadas pelo método (FOSSATI et al., 2016).

Pelo fato do Brasil apresentar um clima mais ameno, a avaliação da envoltória pelo RTQ-R encoraja o uso de estratégias bioclimáticas como a ventilação natural, ao contrário de muitos países que consideram suas edificações somente com sistemas condicionados. Como resultado obtém-se três indicadores: graus hora para resfriamento (para classificar a envoltória no verão), consumo energético para aquecimento (para a envoltória no inverno) e consumo energético para resfriamento (para residência condicionadas artificialmente). Os métodos de avaliação para a envoltória podem ser por simulação ou pelo método simplificado. O método simplificado classifica a envoltória por um metamodelo desenvolvido por regressão linear baseado em simulações feitas no programa EnergyPlus. Cada ambiente de permanência prolongada é avaliado separadamente e depois ponderado por sua área para obter a classificação final da envoltória da edificação. Para o aquecimento de água os sistemas são primeiramente analisados quanto a sua fonte de calor, sendo valorizados sistemas que não utilizem energia elétrica ou óleos derivados do petróleo. Existem métodos de classificação diferentes para cada tipo de sistema de aquecimento, como o aquecimento solar, aquecimento a gás, bombas de calor e até por energia elétrica. Assim o objetivo do RTQ-R é desincentivar o uso de chuveiros elétricos e boilers abastecidos por diesel ou outros óleos derivantes do petróleo, que causam maior dano ambiental (FOSSATI et al., 2016).

Alguns pontos do RTQ-R foram considerados ineficientes e assim foi desenvolvida a Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais (INI-R), um aprimoramento do RTQ-R a fim de ser mais preciso na avaliação da eficiência energética de edificações. Uma diferença importante entre os dois métodos é o metamodelo empregado para a avaliação da envoltória, no método atual esse metamodelo gerava resultados por regressão linear, porém foi observado que essa abordagem estatística não era precisa quando se analisava variáveis não lineares, que é o caso de algumas variáveis consideradas no RTQ-R. Assim no novo método, a INI-R, os resultados gerados são baseados em redes neurais artificiais, que se mostraram mais precisas para o caso da avaliação da envoltória. Além disso, no método atual o metamodelo fazia análises diferentes para cômodos condicionados artificialmente e naturalmente. Quando considerada o condicionamento natural se obtinha como resultado o indicador de graus-hora para resfriamento, já quando a edificação era condicionada artificialmente os resultados eram o consumo energético relativo para

resfriamento e aquecimento. Assim não seria possível fazer uma comparação entre esses resultados, os benefícios de uma edificação mais eficiente não poderiam ser observados no consumo energético resultante proveniente desses benefícios, visto que os resultados seriam em uma unidade diferente, o indicador de graus-hora para resfriamento. Além disso simulações apontam que estratégias para condicionamento natural e artificial diferem, a inércia térmica se usada corretamente pode melhorar a performance energética para o caso de condicionamento natural e aumentar o consumo energético para o caso de condicionamento artificial (FOSSATI et al., 2016).

Para o INI-R os resultados do metamodelo são as cargas térmicas de refrigeração e aquecimento e também o percentual de horas ocupadas em conforto térmico quando a unidade habitacional é ventilada naturalmente (PCHOt) (CB3E,2018). Outra novidade foi o desenvolvimento de um novo método de avaliação, o prescritivo, que é um checklist com algumas informações que podem classificar uma edificação de maneira mais simples e rápida, porém esse método só pode ser utilizado para edificações com classificação máxima (A). Os outros métodos de análise são o simplificado, que é abordado nesse trabalho, e o por simulação. A classificação final da edificação é feita baseada no consumo de energia primária da edificação real e em relação à da edificação de referência. A energia primária é a energia disponível na natureza que posteriormente pode ser transformada em outras fontes de energia, como a eletricidade e o calor. Assim o método define fatores de conversão para as energias secundária serem transformadas em primárias, desincentivando o uso de energias consideradas mais prejudiciais ao meio ambiente. Para o cálculo do consumo de energia primária são somados os consumos para refrigeração e aquecimento da edificação, o consumo para aquecimento de água, o consumo médio estimado para equipamentos eletrônicos e descontado desse valor a energia gerada por fontes renováveis caso haja geração na edificação. Com a definição dos consumos de energia primária, é calculada a redução entre a edificação na condição real e na condição de referência. Quanto maior for essa redução, maior será o nível de eficiência energética alcançado pela edificação. A INI-R classifica as edificações entre os níveis “A” e “D”, ou seja, no novo método a pior classificação de eficiência energética é a “D” ao invés da “E”.

Outro marco para as políticas energéticas no Brasil foi a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que teve sua efetivação em 2004. A EPE é uma empresa pública federal dependente integralmente do Orçamento Geral da União, que visa assegurar as bases para um desenvolvimento sustentável da infraestrutura energética do país. Assegurando isso

por meio de estudos e pesquisas que norteiam a realização de procedimentos e ações que visam à realização da política necessária ao suprimento energético. Um dos estudos publicados pela EPE é o PNE (Plano Nacional de Energia) que auxilia no planejamento do setor energético a longo prazo no país, orientando tendências e analisando alternativas para o setor nas próximas décadas. Atualmente foram publicados os PNE 2030 e PNE 2050, que fazem essas análises para os respectivos anos (BRASIL, 2018).

A norma NBR 15575 também tem grande impacto nesse cenário, ela estabelece os requisitos mínimos de desempenho, vida útil e de garantia para os principais sistemas que fazem parte das edificações. Inclusive muitas propriedades e pré requisitos adotados na etiquetagem para edificações são baseadas na NBR 15575. A ABNT publicou a norma pela primeira vez em 2008 e teve algumas revisões, sendo publicada pela última vez em 2013, tornando-se válida em julho do mesmo ano. A norma é estruturada em seis partes: Requisitos Gerais, Requisitos para os sistemas estruturais, Requisito para os sistemas de pisos, Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externa, Requisitos para os sistemas de coberturas e Requisitos para os sistemas hidrossanitários. O desempenho térmico das edificações pode ser avaliado de três maneiras: procedimento simplificado, simulação e medição. Para o método simplificado é analisado os requisitos e critérios para fachadas e coberturas são atendidos de acordo com os textos NBR 15575-4 e NBR 15575-5. Caso a edificação não atinja esses requisitos deve-se fazer a avaliação por simulação ou medição. Ambos métodos verificam o atendimento dos requisitos e critérios estabelecidos na NBR 15575-1, porém um por meio de simulações computacionais e outro por meio de avaliações in loco (SORGATO et al., 2014).

## 2.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA

A viabilidade financeira do emprego de medidas de eficiência energética é difícil de ser totalmente mensurada. Avaliar todos os impactos de uma edificação sustentável, como redução dos gases estufa, melhoria na qualidade de vida e a poupança de recursos naturais exige um estudo aprofundado. Assim a avaliação da viabilidade financeira nesses casos geralmente relaciona apenas a redução dos gastos energéticos com o custo da aplicação de uma medida de eficiência energética (GANHÃO, 2011). Uma das formas de quantificar a viabilidade é por meio do payback corrigido que considera a taxa de desconto em que o investidor poderia aplicar



seu capital a juros de acordo com a sua TMA (Taxa Mínima de Atratividade) e a diferença entre os custos que o investidor arcaria caso fizesse ou não tal investimento (WESTPHAL; LAMBERTS, 1999).

Besen e Westphal (2014) analisaram a viabilidade econômica do emprego de quatro tipos diferentes de vidros de fachadas em um edifício comercial de escritórios em seis cidades brasileiras. Os resultados do consumo energético foram obtidos por simulação computacional no software EnergyPlus. Foram considerados o payback simples, payback corrigido e a taxa interna de retorno (TIR) para um período de dez anos. Para o cálculo foi considerada a economia anual de energia elétrica por conta do emprego dos vidros e o custo de aquisição de cada vidro em comparação com um vidro incolor monolítico. Os resultados mostraram que a alteração dos vidros de fachada tem maior viabilidade econômica para cidades mais quentes. Em Fortaleza, para os quatro tipos de vidros empregados o valor da TIR superou o valor da TMA (12%), o que mostra que para o período estudado o investimento é viável. A maior TIR obtido foi de 66,2%, com o emprego de um vidro laminado de fator solar 30% em Fortaleza, o que mostra que, durante um período de dez anos, ao investir seu capital nessa medida de eficiência energética, o investidor teria um lucro sobre o capital investido de 66,2% ao ano, em forma de redução dos custos com energia elétrica.

Aguiar (2018) analisou a implantação de oito medidas de eficiência energética em dois edifícios de uma creche pública localizada em Natal. Foram comparados seus impactos econômicos com seu desempenho energético, obtido via simulações computacionais por meio do software Design Builder. Das oito medidas propostas, seis foram a alteração da cobertura dos edifícios, além da implantação de um vidro refletivo e de um dispositivo de sombreamento. A única medida que não apresentou uma redução do consumo para resfriamento foi o emprego de uma cobertura com telhas cerâmicas coloniais com forro de gesso. A viabilidade financeira das medidas foi avaliada pelo Valor Presente Líquido (VPL) em um período de 30 anos com uma TMA de 7,5 % ao ano. Portanto para uma das medidas ser considerada viável, seu VPL deve ser maior que zero. Os casos com maior VPL foram o emprego de coberturas com telhas cerâmicas coloniais claras com forro de laje pré-moldada e com telha metálica trapezoidal com forro de gesso, ambas com VPL superior a R\$ 20.000.

### 3 MÉTODO

No estudo, foram analisadas a envoltória da edificação e seu sistema de aquecimento de água. Após a análise do caso base foram propostas medidas de eficiência energética a fim de se obter nível máximo (A) de eficiência energética das unidades habitacionais (UHs), avaliando também a viabilidade econômica dos projetos, considerando o custo construtivo da alteração proposta e a redução no consumo energético.

#### 3.1 CASO BASE

A tipologia da edificação estudada é uma edificação residencial multifamiliar de alto padrão, localizada em Florianópolis. O edifício apresenta 3 pavimentos, com quatro apartamentos por andar, totalizando 12 UHs. A área comum do prédio, com um salão de festas e um playground, se situa no último andar. Todos os apartamentos apresentam dois quartos sendo uma suíte, exceto dois apartamentos do primeiro pavimento que tem apenas um dormitório conjugado com a sala. Nas Figuras 2, 3, 4 e 5 podem ser visualizadas, respectivamente, a perspectiva da edificação, a planta baixa do primeiro pavimento, a planta baixa do segundo e terceiro pavimentos e a planta baixa da cobertura (área de lazer).

Figura 2 - Perspectiva da edificação



Figura 3 - Planta baixa do primeiro pavimento

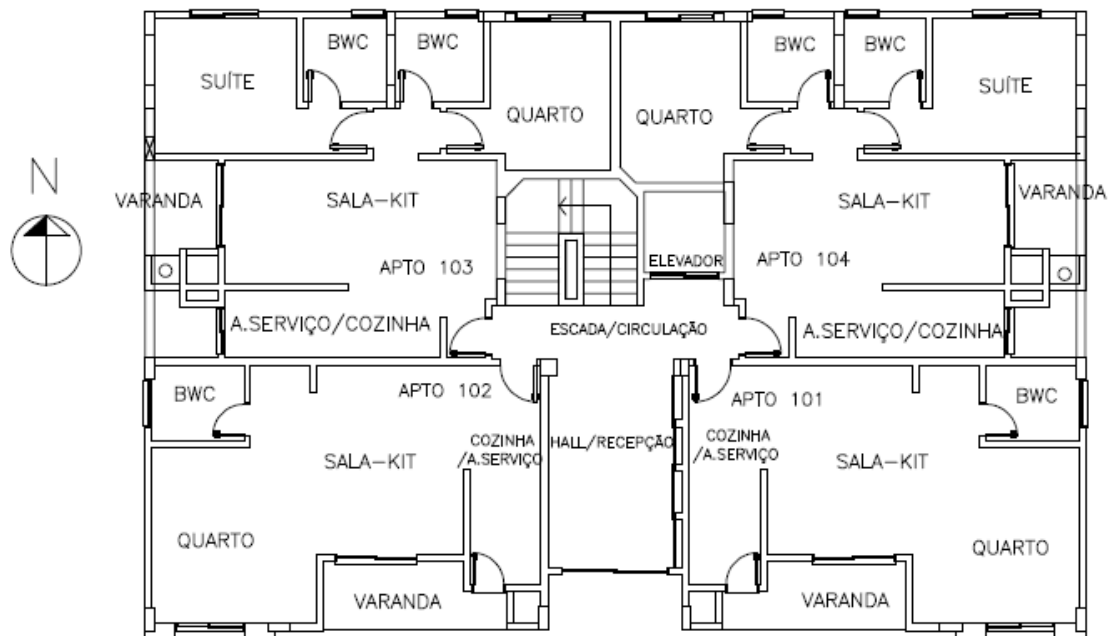


Figura 4 - Planta baixa do segundo e terceiro pavimentos

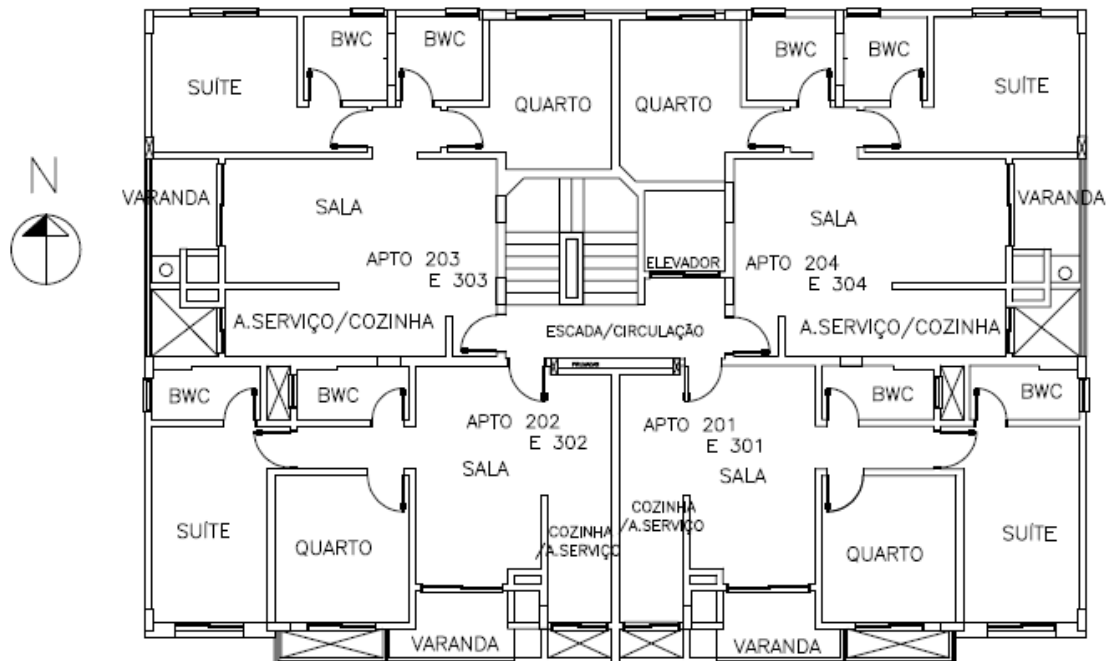
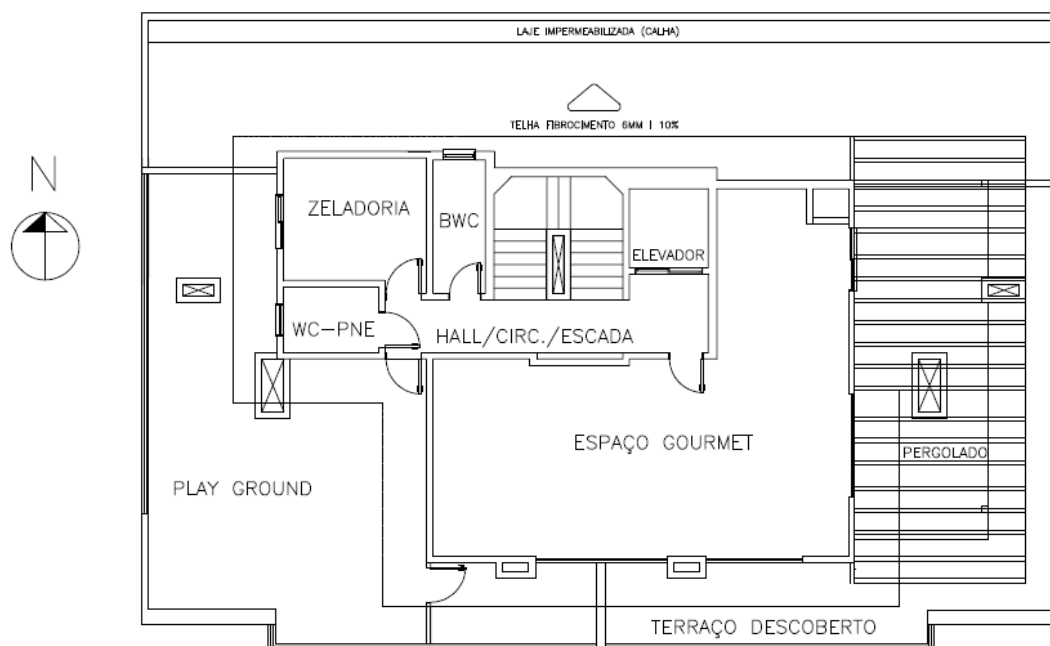


Figura 5 - Planta baixa da cobertura



A edificação apresenta fachadas norte e sul com 20,99 metros de comprimento e leste e oeste com 15,56 metros de comprimento. A altura total da edificação é de 19,81 metros. A área construída é de 565,14 m<sup>2</sup> e a área útil é de 293,06 m<sup>2</sup>. A garagem do prédio se situa em um pavimento abaixo do térreo.

As propriedades térmicas dos componentes construtivos foram calculadas de acordo com a NBR 15220-2 e outros foram obtidos do Anexo V do RAC (BRASIL, 2013). As paredes externas são compostas de 2,5 cm de argamassa interna, blocos cerâmicos (12,0 x 19,0 x 19,0 cm) e 2,5 cm de argamassa externa. As lajes entre pavimentos são lajes nervuradas com altura de 22,5 cm com vazios preenchidos por poliestileno, um contrapiso de 2 cm, piso cerâmico de 0,75 cm de espessura e 3 cm de reboco no teto. A última laje, externa, é uma laje nervurada com altura de 22,5 cm com vazios preenchidos por poliestileno, contrapiso de 7,5 cm, piso cerâmico de 0,75 cm de espessura e 3 cm de reboco no teto. Uma parte de cobertura é formada pelo conjunto da laje externa e uma telha de fibrocimento cinza, isso acontece apenas na região referente à cobertura dos dormitórios dos apartamentos 303 e 304. Em alguns pontos essa laje da cobertura não é realmente exposta por estar sob o salão de festas, como é o caso das salas de todos os apartamentos do 3º pavimento exceto a do apartamento 304. A absorvância das paredes no caso base foi considerado como 0,16, que corresponde à uma tinta acrílica fosca de cor branca segundo o Anexo V do RAC (BRASIL, 2013). Para a absorvância das coberturas com telhas de fibrocimento foi adotado 0,6, referente a telhas de fibrocimento novas no estudo de

Silveira, Marinoski e Lamberts (2012) e para o piso cerâmico foi adotada uma absorptância de 0,35.

Para as aberturas, nos quartos foram utilizadas esquadrias com três folhas de correr, sendo duas delas veneziana. Para os ambientes de permanência prolongada referentes às salas as esquadrias, tanto das portas da varanda quanto das janelas da cozinha, são com duas folhas de correr, sem venezianas. Os vidros das aberturas são de 3 mm, com fator solar de 0,87 e transmitância de 5,70 W/m<sup>2</sup>K. O fator de abertura para todas aberturas é de 0,5.

### 3.2 INSTRUÇÃO NORMATIVA INMETRO PARA A CLASSE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

O método simplificado se baseia na comparação entre a edificação na condição de referência e na real. A análise da envoltória é feita por meio de um metamodelo disponível pelo Núcleo de Edificações Residenciais do Centro Brasileiro em Eficiência Energética de Edificações (CB3E) em <http://pbeedifica.com.br/redes/residencial>. Para a edificação na condição de referência, o volume da edificação, as áreas e os pés direitos são iguais ao da condição real, apenas suas características construtivas são diferentes. O trabalho analisou a envoltória dos doze apartamentos da edificação, tanto na condição de referência como na condição real da edificação. Para isso foram inseridos os dados de entrada no metamodelo usado no método. Para a visualização desses dados, estão expostas na Figura 6 as características do apartamento 303. Os dados dos outros apartamentos se encontram no Anexo I.

Para a análise da eficiência energética do aquecimento de água, leva-se em consideração o tipo de sistema empregado na edificação. O sistema na condição de referência depende do sistema de aquecimento de água adotado na edificação na condição real. Para a obtenção da classe A os sistemas devem atender pré-requisitos, como de automação para o sistema de recirculação, de controle de acionamento de múltiplos aquecedores e isolamento térmico de tubulações e reservatórios, quando existentes. Após a análise dos pré-requisitos, é determinado o consumo energético para o sistema de aquecimento de água levando em consideração temperatura da água fria, temperatura de uso da água, volume diário de consumo de água quente e possíveis perdas e ganhos de calor para cada sistema. Após calculados os consumos, os mesmos devem ser transformados em energia primária e comparados, a fim de se obter o percentual de economia de energia primária da edificação real em relação à edificação

na condição de referência. Finalmente, com esse percentual o sistema de aquecimento de água pode ser classificado, sendo o nível máximo “A” e o mínimo “E”.

Figura 6 - Dados de entrada do apartamento 303

	Real			Referência		
APP	Estar	Quarto	Suíte	Estar	Quarto	Suíte
Ambiente	Sala	Dormitório	Dormitório	Sala	Dormitório	Dormitório
Vidro Norte (%)	0.0	26.7	22.6	0.0	18.1	17.6
Vidro Leste (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vidro Sul (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vidro Oeste (%)	54.7	0.0	0.0	39.6	0.0	0.0
Área Norte (m²)	0.00	7.59	8.97	0.00	7.59	8.97
Área Leste (m²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área Sul (m²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área Oeste (m²)	9.83	0.00	8.43	9.83	0.00	8.43
Área do Ambiente (m²)	27.77	9.80	11.30	27.77	9.80	11.30
Capacidade Térmica Parede	Média	Média	Média	Média	Média	Média
Transmitância Parede (W/Km²)	2.24	2.24	2.24	3.65	3.65	3.65
Capacidade Térmica Cobertura	Pesada	Pesada	Pesada	Pesada	Leve	Leve
Transmitância Cobertura (W/Km²)	0	1.25	1.25	0	2.02	2.02
Transmitância Vidro (W/Km²)	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7
Fator Solar Vidro	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
Tipo do de Piso (Inércia Térmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)
Pé Direito (m)	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81
Absortância Solar Paredes	0.16	0.16	0.16	0.6	0.6	0.6
Absortância Solar Cobertura	0	0.6	0.6	0	0.6	0.6
Tamanho Projeção (m)	1.64	0	0	0	0	0
Altura Pavimento (m)	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35
Veneziana	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
Altura da Abertura (m)	0.744	0.48	0.48	0.744	0.48	0.48
Fator Abertura Ventilação	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Pilotis	Sem	Sem	Sem	Sem	Sem	Sem
Exposição do Piso	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos
Exposição Cobertura	Laje entre Pavimentos	Exposta	Exposta	Laje entre Pavimentos	Exposta	Exposta

Os resultados de saída do metamodelo são os valores da carga térmica para resfriamento ( $Cg_{TR}$ ) e aquecimento ( $Cg_{TA}$ ) de cada APP da unidade habitacional. Com esses dados, é calculada a redução das cargas térmica para resfriamento e aquecimento entre os APP das edificações real e referência, e com o resultado dessa comparação é calculado o Equivalente Numérico de Eficiência Energética do APP para refrigeração ( $EqNum_{APP_r}$ ) e aquecimento ( $EqNum_{APP_a}$ ). Assim, se pondera as áreas da APPs em relação à área útil de toda UH, tendo com resultado o Equivalente Numérico de Eficiência Energética da Envoltória da UH para refrigeração ( $EqNum_{UH_r}$ ) e aquecimento ( $EqNum_{UH_a}$ ). O Equivalente Numérico Global de Eficiência Energética da Envoltória da UH ( $EqNum_{UH}$ ) é obtido pela ponderação dos equivalentes numéricos da UH pelas cargas térmicas na condição de referência. O nível de eficiência energética da envoltória é gerado de acordo com esse valor, analisando os intervalos para cada nível, como mostrado na Figura 7.

Figura 7 - Limites para classificação da envoltória

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b><math>EqNum_{UH} \geq 3</math></b>	<b><math>3 &gt; EqNum_{UH} \geq 2</math></b>	<b><math>2 &gt; EqNum_{UH} \geq 1</math></b>	<b><math>EqNum_{UH} &lt; 1</math></b>

Fonte: (CB3E, 2018)

Para o cálculo do consumo energético da envoltória das UHs deve-se multiplicar as cargas térmicas de cada APP por sua respectiva área, e então somar esses valores e os dividir pelo coeficiente de performance (COP). O coeficiente de performance adotado neste trabalho será de 3,24, que de acordo com a INI-R é referente a sistemas de condicionamento de ar Split e de janela. Com a soma dos consumos energéticos para refrigeração e para aquecimento tem-se o consumo energético total da envoltória da edificação real.

### 3.3 MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A escolha das medidas de eficiência energética adotadas nesse trabalho se baseou em MEE com instalações simples, alterando o mínimo possível do projeto original. Não necessitando de mão de obra especializada ou materiais mais difíceis de se encontrar no mercado. Seu emprego interferiria minimamente nos custos, produtividade e planejamento do

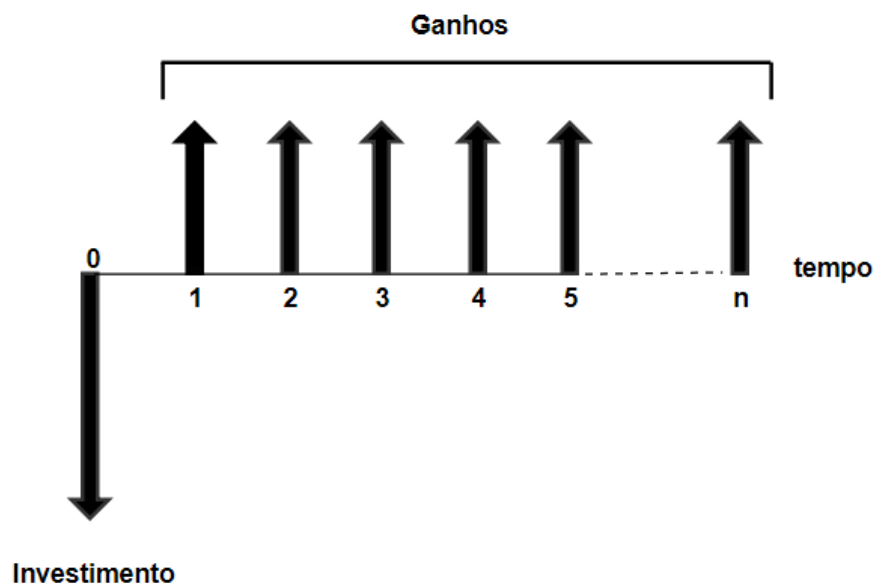


empreendimento, como pintar a cobertura com cores mais claras e a alteração dos dispositivos de sombreamento da edificação.

### 3.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE FINANCEIRA

A análise de viabilidade financeira é realizada por meio do *payback* corrigido e da Taxa Interna de Retorno (TIR). O valor do investimento será o necessário para tornar a edificação mais eficiente, ou seja, a diferença entre o custo da medida de eficiência energética adotada e o custo da técnica substituída. Os ganhos com essa medida serão a economia com o gasto energético anual, como ilustrado na Figura 8. Para definir o *payback* corrigido é necessário encontrar o Valor Presente Líquido (VPL), que depende da Taxa Mínima de Atratividade (TMA) considerada. Como se trata de uma edificação residencial, será considerada a rentabilidade da caderneta de poupança. A TIR é calculada a partir dos valores do investimento e dos ganhos financeiros com a economia energética dentro de um período determinado. O cálculo do VPL e TIR é apresentado nas Equações 1 e 2, respectivamente. O *payback* corrigido é o momento em que o VPL é zero.

Figura 8 - Representação do fluxo de caixa



$$VPL = \sum_{n=0}^N \frac{FCn}{(1-TMA)^n} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

VPL é o valor presente líquido,

N é o período de análise,

FCn é o fluxo de caixa em determinado período N,

TMA é a taxa mínima de atratividade.

$$0 = \sum_{n=0}^N \frac{FCn}{(1-TIR)^n} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

N é o período de análise,

FCn é o fluxo de caixa em determinado período N,

TIR é a taxa interna de retorno.

Os valores do investimento para a aplicação das medidas de eficiência energética serão obtidos via orçamento de fornecedores da região de Florianópolis, quando necessário, considerando além dos materiais, custos com mão de obra e manutenção. O custo do consumo energético será baseado na tarifa de energia da cidade de Florianópolis, por meio da Equação 3, que é uma fórmula simplificada a qual engloba os impostos referentes à Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS), ao Programa de Integração Social (PIS) e ao Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS).

$$Tarifa = \frac{Tarifa_{Celesc}}{[1-(COFINS+PIS+ICMS)]} \quad \text{Equação 3}$$

## 4 RESULTADOS

### 4.1 RESULTADOS DA EDIFICAÇÃO REAL

A Figura 9 foi desenvolvida com os resultados obtidos pelo metamodelo e por cálculos indicados no método do INI-R. As UHs com pior desempenho da envoltória foram as orientadas para o norte. Quanto ao primeiro pavimento, todas as UHs apresentaram classe B, inclusive as com orientação Sul. Este fato se deve ao layout diferente que esses apartamentos têm em relação aos outros. Pelo fato dos apartamentos 101 e 102 possuírem o quarto conjugado com a sala, seu cálculo é realizado de uma maneira diferente que será comentada posteriormente. Já as UHs com orientação sul do primeiro e segundo pavimento apresentaram nível A, o maior nível de eficiência da envoltória. Foram realizadas análises das APPs de cada UH por pavimento para que se possa entender melhor os resultados e também para que as medidas de eficiência energética utilizadas sejam mais precisas possível.

Figura 9 - Resultados da classe de eficiência energética da envoltória de cada UH do edifício base

UH		101	102	103	104	201	202	203	204	301	302	303	304
Nº de APPs		2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Refrigeração	CgTR REF (kWh/ano)	3428.95	3521.28	3725.67	3581.17	3651.31	3643.49	3514.81	3303.89	3572.87	3576.21	3356.81	4128.89
	CgTR REAL (kWh/ano)	1562.51	1557	1066.79	995.73	1022.81	1019.1	1061.61	993.39	1122.58	1118.84	1511.84	1173.67
	RedCgTR (%)	54.43	55.78	71.37	72.2	71.99	72.03	69.8	69.93	68.58	68.71	54.96	71.57
	EqNumUHR	2.43	2.36	2.84	2.84	3.4	3.41	2.85	2.88	3.23	3.23	2.22	2.74
Aquecimento	CgTAuhref (kWh/ano)	82.54	77.6	48.33	48.95	45.51	45.6	48.87	49.46	82.61	82.14	74.35	75.98
	CgTAuhreal (kWh/ano)	82.54	77.6	48.33	48.95	45.51	45.6	48.87	49.46	164.45	163.65	63.82	65.06
	RedCgTA (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	-99.08	-99.24	14.16	14.36
	EqNumUHa	3	3	3	3	3	3	3	3	1.58	1.58	2.47	2.46
EqNumUH		2.44	2.38	2.84	2.85	3.4	3.4	2.85	2.88	3.19	3.2	2.23	2.74
CLASSE		B	B	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B

A Figura 10 mostra as cargas térmicas, suas reduções e os equivalentes numéricos da envoltória das APP do primeiro pavimento. Com esses dados, pode-se avaliar os fatores mais impactantes na avaliação da envoltória das UHs. Primeiramente, a questão de aquecimento não merece tanto destaque para as UHs desse pavimento, já que suas cargas térmicas reais foram inferiores ao valor 1, porém o método indica que seja aproximado para o valor 1 para efeito de cálculo. Como mencionado anteriormente, as quitinetes (apartamentos 101 e 102) foram as únicas UHs com orientação Sul, com uma classificação da eficiência energética da envoltória

diferente de “A”. Como as quitinetes apresentam veneziana somente na janela referente ao quarto, o método indica que deve ser usada situação mais crítica, ou seja, sem veneziana para a APP. Devido a esse fato, as quitinetes obtiveram uma redução de carga térmica menor se comparada com outros apartamentos. Os únicos dormitórios que não apresentam venezianas, para o cálculo das cargas térmicas, são os referentes aos apartamentos 101 e 102. Em comparação com outros dormitórios do edifício, nota-se uma grande diferença na redução da carga térmica para refrigeração. Uma quitinete é considerada com uma APP com uma área referente à soma do dormitório e da sala, porém é calculada pelo metamodelo como sendo uma sala e um dormitório, e então seus equivalentes numéricos são somados. Com isso, no caso dos apartamentos 101 e 102, tanto a sala quanto o dormitório foram considerados com áreas maiores que 25 m<sup>2</sup>, fazendo com que o limite de redução de cargas térmicas entre classes aumente. Assim, com a mesma redução de carga térmica, APPs com áreas maiores que 25 m<sup>2</sup> atingirão equivalentes numéricos piores que APPs de áreas menores.

Os apartamentos 103 e 104 também apresentaram uma classificação de eficiência da envoltória B. Os dormitórios apresentam dimensões próximas, os quartos possuem fachadas norte e as suítes possuem, além da norte, fachadas oeste ou leste, ambas APPs apresentam aberturas na direção norte. Os resultados dos apartamentos 103 e 104 foram muito próximos, tanto para cargas térmicas e suas reduções quanto para seus Equivalentes Numéricos. Os resultados para os dormitórios foram bons, com Equivalentes Numéricos acima de 3,5. Já as salas apresentam apenas fachada leste ou oeste. Os resultados da redução de carga térmica e equivalente numérico da envoltória para as salas foram abaixo dos resultados dos dormitórios, isso acontece por dois motivos. Primeiramente, como explicado anteriormente, as salas apresentam áreas maiores que 25 m<sup>2</sup>, o que dificulta o alcance de um Equivalente Numérico alto. Além disso, nas salas não foram empregadas venezianas como nos quartos, isso se agrava ainda mais ao considerarmos que essas APPs apresentam uma porcentagem de área de abertura maior que os dormitórios.

Figura 10 – Resultados das envoltórias das APPs do primeiro pavimento

	UH	101		102		103			104		
	APP	Sala	Dorm.	Sala	Dorm.	Sala	Quarto	Suíte	Sala	Quarto	Suíte
	Área (m²)	41.27	41.27	38.8	38.8	27.4	9.8	11.1	27.4	10.4	11.15
Refrigeração	CgTR REF (kWh/m².ano)	64.17	18.92	70.69	20.07	90.33	62.29	57.43	83.92	60.77	58.27
	CgTR REAL (kWh/m².ano)	30.99	6.87	33.33	6.8	34.29	6.39	5.72	31.57	6.08	6.06
	RedCgTR (%)	51.71	63.67	52.85	66.13	62.04	89.75	90.03	62.38	90	89.6
	EqNumAPP <sub>r</sub>	2.61	2.25	2.57	2.15	2.27	3.59	3.6	2.25	3.6	3.58
Aquecimento	CgTA REF (kWh/m².ano)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	CgTA REAL (kWh/m².ano)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	RedCgTA (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EqNumAPP <sub>a</sub>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Os resultados obtidos para os apartamentos do segundo pavimento estão expostos na Figura 11. Como dito anteriormente, os apartamentos voltados para o sul (201 e 202) obtiveram nível A para a envoltória e os apartamentos voltados para o norte nível B. Novamente para todas UHs deste pavimento as salas obtiveram uma redução de carga térmica consideravelmente menor que os dormitórios. Um dos motivos dessa diferença é o fato de que essas APPs não têm venezianas e possuem aberturas maiores que os dormitórios. Todas as APPs dos apartamentos 201 e 202 tem orientação Sul, sendo as suítes com também orientação leste e oeste, para os apartamentos 201 e 202, respectivamente. As salas desses apartamentos apresentaram uma redução de carga térmica para refrigeração consideravelmente menor que as dos quartos, porém pelo fato de terem uma área útil menor que 25 m², ainda conseguiram obter um Equivalente Numérico maior que três, que é o limite inferior para o nível A. As UHs com orientação norte tem o mesmo layout dos apartamentos final 03 e 04 do primeiro pavimento, com apenas algumas pequenas diferenças em suas dimensões. Novamente as APPs referentes às salas tem uma área superior a 25 m², assim, mesmo com reduções de cargas térmicas para refrigeração próximas em comparação com as salas do mesmo pavimento, apresentam valores para o equivalente numérico bem diferentes. O limite inferior para o nível A em salas varia de 55% para 70% quando a APP tem uma área maior que 25 m², o que desfavorece muito as salas dos apartamentos 203 e 204 que alcançaram um Equivalente Numérico de 2,33 e 2,37, respectivamente.

Figura 11 - Resultados das envoltórias das APPs do segundo pavimento

	UH	201			202			203			204		
	APP	Sala	Quarto	Suíte	Sala	Quarto	Suíte	Sala	Quarto	Suíte	Sala	Quarto	Suíte
	Área (m²)	24.03	9.78	11.7	24.02	9.78	11.8	27.77	9.8	11.3	27.76	10.4	11.3
Refrigeração	CgTR REF (kWh/m².ano)	105.13	54.93	50.2	105.2	55.12	48.9	83.05	59.92	54.98	74.4	58.45	55.8
	CgTR REAL (kWh/m².ano)	38.38	3.28	5.86	38.44	3.33	5.37	33.15	7.08	6.34	30.54	6.75	6.68
	RedCgTR (%)	63.49	94.04	88.3	63.46	93.96	89	60.08	88.18	88.47	58.96	88.46	88.02
	EqNumAPP <sub>r</sub>	3.19	3.76	3.53	3.19	3.76	3.56	2.33	3.53	3.54	2.37	3.54	3.52
Aquecimento	CgTA REF (kWh/m².ano)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	CgTA REAL (kWh/m².ano)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	RedCgTA (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EqNumAPP <sub>a</sub>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Os resultados de cada APP do terceiro pavimento se encontram na Figura 12. Os apartamentos orientados para o sul apresentaram novamente o nível máximo de eficiência energética para envoltória. Os piores resultados da edificação foram os dos apartamentos 303 e 304, voltados para o norte e com boa parte de sua cobertura exposta. Como dito anteriormente, algumas APPs do último pavimento não apresentam a cobertura exposta pois estão sob o salão de festas. Essas APPs são as salas dos apartamentos 301, 302 e 303. A sala do apartamento 303 apresentou um Equivalente Numérico abaixo de três novamente por possui uma área maior que 25 m², o que faz com que seja necessária uma redução maior que 70% para atingir o limite inferior do nível máximo. Já a sala do apartamento 304 apesar de sua área também maior que 25 m², apresentou uma redução de carga térmica com valor elevado (80,44%) o que se deve ao fato de ser a única sala com cobertura exposta do pavimento, que faz com que o desempenho térmico da cobertura seja mais sensível quanto à mudança das propriedades térmicas dos materiais empregados. Devido ao fato de as propriedades térmicas da cobertura na condição real serem melhores que as características na condição referência, a redução de carga entre as duas é mais impactante, principalmente pela diferença entre as absorvâncias que para a condição de referência é adotado 0,6 e para a condição real foi adotado 0,35. Quanto aos dormitórios das UHs com orientação norte, apesar de também estarem expostas, suas reduções de carga térmica para refrigeração foram baixas em relação aos outros dormitórios do mesmo pavimento. Isso ocorre pois estão expostas, e apesar de suas propriedades térmicas na condição real ainda serem melhores que na condição referência, elas apresentam a mesma absorvância, 0,6, que para condição real é referente às telhas de fibrocimento que cobrem unicamente os dormitórios desses apartamentos.

Figura 12 – Resultados das envoltórias das APPs do terceiro pavimento

UH		301			302			303			304		
APP		Sala	Quarto	Suíte	Sala	Quarto	Suíte	Sala	Quarto	Suíte	Sala	Quarto	Suíte
Área (m²)		24.03	9.78	11.7	24.02	9.78	11.8	27.77	9.8	11.3	27.76	10.4	11.3
Refrigeração	CgTR REF (kWh/m².ano)	102.75	54.35	48.6	102.8	54.32	48.7	80.31	55.77	51.34	107.5	54.41	51.24
	CgTR REAL (kWh/m².ano)	38.67	8.22	9.6	38.7	8.29	9.17	33.8	28.17	26.3	21.02	27.38	27.01
	RedCgTR (%)	62.37	84.88	80.3	62.36	84.75	81.2	57.92	49.48	48.77	80.44	49.67	47.28
	EqNumAPP <sub>r</sub>	3.16	3.4	3.21	3.16	3.39	3.25	2.4	1.99	1.98	3.35	1.99	1.95
Aquecimento	CgTA REF (kWh/ano)	1	2.07	3.25	1	2.09	3.19	1	1.7	2.65	1	1.7	2.7
	CgTA REAL (kWh/ano)	1	5.4	7.45	1	5.43	7.33	1	1.27	2.09	1	1.26	2.14
	RedCgTA (%)	0	-160.19	-129	0	-159.86	-130	0	25.17	21.18	0	25.83	20.79
	EqNumAPP <sub>a</sub>	3	0	0	3	0	0	3	1.84	1.71	3	1.86	1.69

## 4.2 APLICAÇÃO DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Com base nos resultados e nas análises da edificação na condição real foram propostas modificações no projeto a fim de fazer com que todas as UHs da edificação passem a ter o nível máximo de eficiência energética na envoltória. Os apartamentos que já obtiveram o nível A não serão considerados nessas análises, ou seja, as medidas se aplicarão apenas aos apartamentos 101, 102, 103, 104, 203, 204, 303 e 304.

Como observado anteriormente, na maior parte dos casos foi nas APPs referentes às salas que se obteve os menores equivalentes numéricos, assim é interessante que as alterações sejam feitas primeiramente nas salas. Em todas as UHs as salas não têm venezianas e os quartos tem, portanto uma medida que pode melhorar bastante o desempenho da envoltória das UHs é a adoção de venezianas nas salas. Foram consideradas venezianas apenas nas salas das UHs que não alcançaram o nível A. As venezianas adotadas localizam-se na cozinha (janela ou porta) e na sala (porta para varanda), já que a “APP Sala” engloba esses dois cômodos.

Na Figura 13 temos os resultados com venezianas nas salas do primeiro pavimento. Foram adotadas venezianas em todas as salas dos apartamentos do primeiro pavimento. Os resultados foram suficientes para alcançar o nível A, já que todas as APPs têm um equivalente numérico maior que três. Com a adição de venezianas as reduções de cargas térmica para refrigeração do apartamento 101 passaram de 51,71% na sala e 63,67% no dormitório, para

77,1% e 94,01%, respectivamente. No apartamento 102 os valores referentes às reduções de carga térmica na sala e no dormitório passaram de, 52,85% e 66,13% para 77,06% e 93,8%, respectivamente. Para as salas dos apartamentos 103 e 104 as reduções passaram de 62,04% e 62,38% para 91,54% e 93,28%, respectivamente.

Figura 13 – Resultados das envoltórias das APPs do primeiro pavimento com venezianas

	UH	101		102		103			104		
	APP	Sala	Dorm.	Sala	Dorm.	Sala	Quarto	Suíte	Sala	Quarto	Suíte
Refrigeração	Área (m²)	41.27	41.27	38.8	38.8	27.4	9.8	11.1	27.4	10.4	11.15
	CgTR REF (kWh/m².ano)	64.17	18.92	70.69	20.07	90.33	62.29	57.43	83.92	60.77	58.27
	CgTR REAL (kWh/m².ano)	14.69	1.13	16.22	1.24	7.65	6.39	5.72	5.64	6.08	6.06
	RedCgTR (%)	77.1	94.01	77.06	93.8	91.54	89.75	90.03	93.28	90	89.6
	EqNumAPP <sub>r</sub>	3.24	3.8	3.24	3.79	3.72	3.59	3.6	3.78	3.6	3.58
Aquecimento	CgTA REF (kWh/m².ano)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	CgTA REAL (kWh/m².ano)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	RedCgTA (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EqNumAPP <sub>a</sub>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

A Figura 14 mostra os resultados das UHs do segundo pavimento com o emprego de venezianas nas APPs referentes às salas dos apartamentos 203 e 204. Novamente, o uso de venezianas foi suficiente para o alcance do nível máximo de eficiência da envoltória para os apartamentos 203 e 204. A redução de carga térmica passou de 60,08% para 90,19% no apartamento 203. No apartamento 204 a redução da carga térmica passou de 58,96% para 88,47%. Nota-se que o emprego das venezianas se demonstrou bastante efetivo para os ambientes referentes às salas analisadas. Com as venezianas, as salas dos apartamentos com dois dormitórios do primeiro e segundo pavimento passaram a ter uma redução de carga térmica maior que 90%, sendo que antes do emprego das venezianas apresentavam no geral uma redução de carga térmica próxima a 60%.



Figura 14 – Resultados das envoltórias das APPs do segundo pavimento com veneziana

	UH	201			202			203			204		
	APP	Sala	Quarto	Suíte	Sala	Quarto	Suíte	Sala	Quarto	Suíte	Sala	Quarto	Suíte
Refrigeração	Área (m²)	24.03	9.78	11.7	24.02	9.78	11.8	27.77	9.8	11.3	27.76	10.4	11.3
	CgTR REF (kWh/m².ano)	105.13	54.93	50.2	105.2	55.12	48.9	83.05	59.92	54.98	74.4	58.45	55.8
	CgTR REAL (kWh/m².ano)	11.8	3.28	5.86	11.86	3.33	5.37	8.15	7.08	6.34	6.16	6.75	6.68
	RedCgTR (%)	63.49	94.04	88.3	63.46	93.96	89	90.19	88.18	88.47	91.72	88.46	88.02
	EqNumAPP <sub>r</sub>	3.19	3.76	3.53	3.19	3.76	3.56	3.67	3.53	3.54	3.72	3.54	3.52
Aquecimento	CgTA REF (kWh/m².ano)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	CgTA REAL (kWh/m².ano)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	RedCgTA (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	EqNumAPP <sub>a</sub>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Na Figura 15 estão os resultados obtidos após a aplicação de venezianas nos apartamentos 303 e 304. A redução da carga térmica da sala do apartamento 303 aumentou consideravelmente, foi de 57,92% para 89,81%. Já para o apartamento 304 a alteração não foi tão impactante, pois mesmo sem venezianas a sala já tinha uma redução de carga térmica alta, 80,44%, e com as venezianas passou a ter uma redução de carga térmica de 88,55%. No caso dos apartamentos 303 e 304 o emprego das venezianas nas salas não foi suficiente para o alcance do nível máximo de eficiência energética para a envoltória, isso por que o principal problema dessas UHs está nos quartos, que tem equivalentes numéricos muito baixos, com valores inferiores a dois. Assim uma alteração mais impactante para essas UH deve envolver os dormitórios.

Figura 15 – Resultados das envoltórias das APPs primeiro pavimento com veneziana

	UH	301			302			303			304		
	APP	Sala	Quarto	Suíte	Sala	Quarto	Suíte	Sala	Quarto	Suíte	Sala	Quarto	Suíte
Refrigeração	Área (m²)	24.03	9.78	11.7	24.02	9.78	11.8	27.77	9.8	11.3	27.76	10.4	11.3
	CgTR REF (kWh/m².ano)	102.75	54.35	48.6	102.8	54.32	48.7	80.31	55.77	51.34	107.5	54.41	51.24
	CgTR REAL (kWh/m².ano)	38.67	8.22	9.6	38.7	8.29	9.17	8.18	28.17	26.3	12.31	27.38	27.01
	RedCgTR (%)	62.37	84.88	80.3	62.36	84.75	81.2	89.81	49.48	48.77	88.55	49.67	47.28
	EqNumAPP <sub>r</sub>	3.16	3.4	3.21	3.16	3.39	3.25	3.66	1.99	1.98	3.62	1.99	1.95
Aquecimento	CgTA REF (kWh/ano)	1	2.07	3.25	1	2.09	3.19	1	1.7	2.65	1	1.7	2.7
	CgTA REAL (kWh/ano)	1	5.4	7.45	1	5.43	7.33	1	1.27	2.09	1	1.26	2.14
	RedCgTA (%)	0	-160.19	-129	0	-159.86	-130	0	25.17	21.18	0	25.83	20.79
	EqNumAPP <sub>a</sub>	3	0	0	3	0	0	3	1.84	1.71	3	1.86	1.69

A Figura 16 mostra os resultados para cada UH após o emprego das venezianas nas salas dos apartamentos 101, 102, 103, 104, 203, 204, 303 e 304. Nota-se que os únicos apartamentos a não alcançarem o nível A foram os apartamentos 303 e 304. Portanto, foi proposta outra medida de eficiência energética a fim de que esses apartamentos também atinjam o nível máximo de eficiência para a envoltória. Como mencionado anteriormente, os dormitórios desses apartamentos têm equivalentes numéricos baixos, portanto seria interessante fazer alterações especificamente nessas APPs. As APPs em questão têm sua cobertura exposta e composta por uma laje e uma telha de fibrocimento cinza. Alterar a absorvância dessa telha pode ter um grande impacto na redução de cargas térmicas das APPs. Então foram gerados resultados para uma mudança da absorvância das coberturas dos dormitórios referentes aos apartamentos 303 e 304. Foram empregadas telhas de fibrocimento brancas, com absorvância de 0,27, no lugar de telhas de fibrocimento cinzas, com absorvância de 0,6.

Figura 16 – Resultados das envoltórias das UHs com venezianas

	UH	101	102	103	104	201	202	203	204	301	302	303	304
	Nº de APPs	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Refrigeração	CgTR REF (kWh/ano)	3428.95	3521.28	3725.67	3581.17	3651.31	3643.49	3514.81	3303.89	3572.87	3576.21	3356.81	4128.89
	CgTR REAL (kWh/ano)	653.17	677.49	335.84	285.26	1022.81	1019.1	367.34	316.75	1122.58	1118.84	800.45	931.69
	RedCgTR (%)	80.95	80.76	90.99	92.03	71.99	72.03	89.55	90.41	68.58	68.71	76.15	77.43
	EqNumUHR	3.52	3.51	3.67	3.69	3.4	3.41	3.61	3.64	3.23	3.23	2.94	2.89
Aquecimento	CgTA REF (kWh/ano)	82.54	77.6	48.33	48.95	45.51	45.6	48.87	49.46	82.61	82.14	74.35	75.98
	CgTA REAL (kWh/ano)	82.54	77.6	48.33	48.95	45.51	45.6	48.87	49.46	164.45	163.65	63.82	65.06
	RedCgTA (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	-99.08	-99.24	14.16	14.36
	EqNumUHa	3	3	3	3	3	3	3	3	1.58	1.58	2.47	2.46
	EqNumUH	3.51	3.5	3.66	3.69	3.4	3.4	3.6	3.63	3.19	3.2	2.93	2.89
	CLASSE	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B

Os resultados para as alterações nos apartamentos 303 e 304 estão na Figura 17. As APPs referentes aos dormitórios obtiveram uma grande redução na carga térmica para aquecimento. O quarto e a suíte do apartamento 303 com a telha de fibrocimento cinza tinham uma redução de carga de, respectivamente, 49,48% e 48,77%, agora com a telha de fibrocimento branca passam a ter reduções de 85,09% e 84,94%, respectivamente. Para os dormitórios do apartamento 304 os resultados foram bem próximos. Nota-se que houve um aumento da carga térmica para aquecimento, logo uma diminuição na redução de carga térmica para aquecimento, porém isso tem pequeno impacto no equivalente numérico da UH pois o



Concluindo, para o alcance do nível A da edificação em estudo foi necessário o emprego de venezianas nas salas dos apartamentos 101, 102, 103, 104, 203, 204, 303 e 304 além da troca de telhas de fibrocimentos cinzas para telhas de fibrocimento brancas nas coberturas referentes aos dormitórios dos apartamentos 303 e 304.

#### 4.3 VIABILIDADE FINANCEIRA DAS MEDIDAS DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Como mencionado anteriormente, as medidas foram utilizadas a fim de que todas as UHs obtivessem o nível máximo de eficiência energética para a envoltória. Portanto nem todas as UHs do edifício foram consideradas, pois algumas UHs em sua condição real tem o nível de eficiência energética máximo.

Os investimentos considerados nos apartamentos 101 e 102 são: a troca da porta de alumínio de correr da sala, que na condição real é de duas folhas de vidro, por uma porta de correr de alumínio de três folhas, sendo uma de vidro e duas de veneziana; e a troca da porta de alumínio de abrir da cozinha, sendo empregada uma com veneziana no lugar da porta sem veneziana, como consta no projeto. Para os apartamentos 103, 104, 203 e 204 as alterações serão: troca da porta da varanda como no exemplo anterior e o emprego de uma janela com três folhas, duas de veneziana e uma de vidro, no lugar da janela com duas folhas de vidro presente na edificação real. Para os apartamentos 303 e 304 as alterações serão as mesmas que as dos apartamentos anteriores com inclusão do emprego de telhas de fibrocimento branca ao invés de telhas de fibrocimento cinza.

Quanto a precificação dos investimentos, os valores foram obtidos em sites de lojas de construção da região de Florianópolis. Para nenhum dos investimentos serão considerados manutenção, instalação e deterioração, pelo fato de que em todas as alterações esses valores seriam muito próximos ou iguais aos dos elementos da edificação real. As portas de correr com e sem venezianas tem os valores de R\$ 1668,38 e R\$ 1242,58, respectivamente. As portas de abrir com e sem veneziana tem os valores de R\$ 742,50 e R\$ 535,46, respectivamente. As janelas com e sem venezianas custam R\$ 451,10 e R\$ 338,30, respectivamente. Quanto as telhas, os valores encontrados para as telhas de fibrocimento branca e cinza foi de R\$ 25,09/m<sup>2</sup> e R\$ 20,87/m<sup>2</sup>, respectivamente. A área com telhas de fibrocimento na edificação é de 60 m<sup>2</sup>, sendo dividida pelos apartamentos 303 e 304, ou seja, 30 m<sup>2</sup> para cada apartamento. Estes valores e suas diferenças estão presentes na Figura 19.

Figura 19 - Investimentos

UH	Alterações	Valor Edifício Real	Valor MEE	Investimento Total
101 e 102	Porta Varanda	R\$ 1,242.58	R\$ 1,668.38	R\$ 632.84
	Porta Cozinha	R\$ 535.46	R\$ 742.50	
103, 104, 203 e 204	Porta Varanda	R\$ 1,242.58	R\$ 1,668.38	R\$ 538.60
	Janela Cozinha	R\$ 338.80	R\$ 451.10	
303 e 304	Porta Varanda	R\$ 1,242.58	R\$ 1,668.38	R\$ 665.20
	Janela Cozinha	R\$ 338.80	R\$ 451.10	
	Telha Fibrocimento	R\$ 626.10	R\$ 752.70	

Os valores referentes à economia de energia elétrica devido à aplicação das medidas de eficiência energética são calculados pela diferença entre as cargas térmicas, carga para aquecimento somada à carga para refrigeração, das UHs na condição real e na condição que alcançaram o nível A de eficiência energética da envoltória. Para ser convertido em energia elétrica esse valor ainda tem que ser dividido pelo coeficiente de performance do sistema de condicionamento de ar, que segundo o método tem o valor de 3,24. A precificação da economia energética é feita baseado na tarifa da distribuidora da região de Florianópolis, a Celesc. O valor da tarifa adotado foi retirado do site da empresa no mês de outubro e tem o valor de 0,52049 R\$/kWh. O cálculo da tarifa considerando os impostos COFINS, PIS e ICMS foi apresentado no capítulo anterior. No cálculo o valor adotado para o COFINS foi de 25% e para o ICMS/PIS foi de 11,75%, resultando em um valor de R\$ 0,82291/kWh. Os valores relacionados ao consumo energético e à economia financeira devido às MEEs estão na Figura 20.

Figura 20 - Ganhos financeiros

UH	Carga Térmica (kWh/ano)		Consumo Energético (kWh/ano)		Diferença Consumo (kWh/ano)	Ganhos Financeiros/ano
	Real	Nível A	Real	Nível A		
101	1645.05	735.71	507.73	227.07	280.66	R\$ 230.96
102	1634.6	755.09	504.51	233.05	271.45	R\$ 223.38
103	1115.12	384.17	344.17	118.57	225.60	R\$ 185.65
104	1044.68	334.21	322.43	103.15	219.28	R\$ 180.45
203	1110.48	416.21	342.74	128.46	214.28	R\$ 176.33
204	1042.85	366.21	321.87	113.03	208.84	R\$ 171.86
303	1575.66	501.38	486.31	154.75	331.57	R\$ 272.85
304	1238.73	622.81	382.32	192.23	190.10	R\$ 156.43

A TMA adotada no trabalho foi a de uma caderneta de poupança em 2018, 4,55% ao ano, um valor considerado alto em relação aos anos anteriores. Os valores do fluxo de caixa e

seus respectivos anos para cada UH com o emprego de MEEs está na Figura 21. As TIR de cada UH estão na Figura 22.

Figura 21 - Fluxo de caixa

UH	Fluxo de Caixa					
	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
101	-R\$ 632.84	-R\$ 430.68	-R\$ 219.31	R\$ 1.67	R\$ 232.70	R\$ 474.25
102	-R\$ 632.84	-R\$ 438.25	-R\$ 234.81	-R\$ 22.11	R\$ 200.26	R\$ 432.76
103	-R\$ 538.60	-R\$ 377.46	-R\$ 208.98	-R\$ 32.84	R\$ 151.32	R\$ 343.85
104	-R\$ 538.60	-R\$ 382.66	-R\$ 219.62	-R\$ 49.17	R\$ 129.05	R\$ 315.37
203	-R\$ 538.60	-R\$ 386.77	-R\$ 228.04	-R\$ 62.08	R\$ 111.43	R\$ 292.83
204	-R\$ 538.60	-R\$ 391.25	-R\$ 237.20	-R\$ 76.13	R\$ 92.26	R\$ 268.31
303	-R\$ 665.20	-R\$ 422.62	-R\$ 169.00	R\$ 96.17	R\$ 373.39	R\$ 663.23
304	-R\$ 665.20	-R\$ 539.03	-R\$ 407.12	-R\$ 269.21	-R\$ 125.03	R\$ 25.72

Figura 22 - TIR

UH	TIR
101	17%
102	15%
103	21%
104	20%
203	19%
204	11%
303	30%
304	6%

Como exposto na Tabela 14 os investimentos nos apartamentos 101 e 303 apresentam o retorno financeiro mais cedo, três anos. Enquanto para os apartamentos 102, 103, 104, 203 e 204 esse retorno é de quatro anos. O pior caso é o do apartamento 304 que tem um retorno financeiro de cinco anos. Pelo fato dos valores da TIR de todos apartamentos, expostos na Tabela 15, serem maiores que a TMA adotada todos os investimentos são viáveis para o tempo de retorno analisado, ou seja, cinco anos.

## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho foi feito com o objetivo de classificar a envoltória de uma edificação multifamiliar. A avaliação foi feita pelo novo método de etiquetagem de edificações residenciais, a INI-R. Também foi feito um estudo analisando o emprego de medidas de eficiência energética na edificação a fim de reduzir seu consumo energético e alcançar o nível máximo do novo método de etiquetagem. Com os valores da redução do consumo energético e custo de implantação das medidas de eficiência energética foi feito um estudo de viabilidade financeira, verificando se tais medidas são economicamente possíveis de serem empregadas e quais tem melhores retornos dos investimentos.

A envoltória foi analisada por meio do metamodelo disponibilizado pelo Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações. Com as cargas térmicas dos ambientes de permanência permanente de cada unidade habitacional foi possível classificá-las, e posteriormente sugerir alterações no projeto a fim de que todas as doze unidades habitacionais atingissem o nível máximo de eficiência energética para a envoltória. Inicialmente apenas quatro unidades habitacionais foram classificadas como nível A sem a necessidade de alguma alteração. A primeira medida de eficiência energética adotada foi o emprego de venezianas nas janelas referentes às salas e às cozinhas, essa alteração gerou bons resultados, fazendo com que mais quatro unidades habitacionais atingissem o nível A. Para as salas dos apartamentos 103 e 104, por exemplo, o emprego das venezianas fez a redução da carga térmica para resfriamento variar de 62% para 92%, aproximadamente.

Com o emprego das venezianas as únicas unidades habitacionais que não atingiram o nível A para a envoltória foram os apartamentos da cobertura com orientação norte. Com isso foi implantado o uso de uma cobertura com menor absorvância, no caso a troca de telhas de fibrocimento cinzas por telhas de fibrocimento brancas. Com a implantação dessas telhas e das venezianas para as salas, os apartamentos da cobertura voltados para o norte também atingiram o nível máximo de eficiência energética para a envoltória. A variação da carga térmica para os quartos dos apartamentos 303 e 304 com a implantação de telhas brancas variou de 49% para 85%, aproximadamente. Conseguindo demonstrar que alterações simples em uma edificação podem alcançar níveis de eficiência energética aceitáveis.

Todas as medidas propostas são viáveis economicamente no período de cinco anos, visto que apresentam uma TIR superior à TMA adotada. As TIR variaram entre 10% e 20%, as que mais fugiram desses valores foram as dos apartamentos 303 e 304. O motivo de

apartamentos tão semelhantes apresentarem TIR distantes é que o apartamento 304 apresentam a cobertura referente à APP da sala exposta, fazendo com que mesmas alterações tenham efeitos distintos sobre eles.

Desta forma todos os objetivos do trabalho foram alcançados: cálculo do consumo energético e classificação do sistema de aquecimento de água e da envoltória; alcance do nível A para a envoltória de todas as unidades habitacionais; cálculo do consumo energético da envoltória das unidades habitacionais após aplicação das medidas de eficiência energética; e análise da viabilidade financeira para o emprego das medidas de eficiência energética.

## 5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

As limitações encontradas para o desenvolvimento do trabalho foram:

- Resultados validos somente para a edificação analisada
- Dificuldade de alcançar resultados reais pelo fato dos padrões de uso do método adotado não necessariamente representarem a realidade.
- O método utilizado nesse trabalho ainda está em fase de desenvolvimento.

## 5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliação geral da edificação, não apenas da envoltória.
- Realizar o mesmo estudo em outras cidades brasileiras
- Calcular também a emissão de dióxido de carbono para a edificação
- Avaliar o uso racional de água para a edificação
- Aplicar o método de simulação para o mesmo edifício a fim de comparar os resultados dos dois métodos



## REFERÊNCIAS

AGUIAR, Francisco Bernardo Sales de. **IMPACTOS ECONÔMICOS E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE ALTERNATIVAS CONSTRUTIVAS EM UM PROJETO PADRÃO DE CRECHE PÚBLICA NO CLIMA DE NATAL/RN**. 2018. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

BESEN, Priscila; WESTPHAL, Fernando Simon. Fachadas de vidro no Brasil: um estudo comparativo de viabilidade econômica. **Xv Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, Maceió, p.964-973, 11 nov. 2014. Marketing Aumentado. <http://dx.doi.org/10.17012/entac2014.702>.

BRASIL. **PNE 2030 é considerado marco na história do setor energético**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/editoria/infraestrutura/2011/12/pne-2030-e-considerado-marco-na-historia-do-setor-energetico>>. Acesso em: 24 jun. 2018.

BRASIL. **Sobre o PROCEL**. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?TeamID={921E566A-536B-4582-AEAF-7D6CD1DF1AFD}>>. Acesso em: 01 out. 2018.

BRASIL; ELETROBRÁS; PROCEL. **Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso Ano Base 2005: Classe Residencial** Relatório Brasil. Rio de Janeiro, 2007.

BRASIL; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Plano Nacional de Energia**. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-nacional-de-energia-pne>>. Acesso em: 01 out. 2018.

BRASIL; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2017: ano base 2016**. Rio de Janeiro, 2017.

BRASIL; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Plano Nacional de Energia 2050: Demanda de Energia**. Rio de Janeiro, 2016.

BRASIL; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Plano Nacional de Energia 2030: Projeções**. Rio de Janeiro, 2007.

BRASIL; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME; EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Balanco Energético Nacional 2017: ano base 2016**. Rio de Janeiro: 2017. Disponível em: Acesso em: 24 jun. 2018.

BRASIL; Ministério de Minas e Energia Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília, 2007. Disponível em: <[http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE 2030 - Eficiência Energética.pdf](http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-165/topico-173/PNE%2030-EficienciaEnergetica.pdf)>. Acesso em: 24 jun. 2018.

CARLO, Joyce Correna. **Desenvolvimento de Metodologia de Avaliação da Eficiência Energética do Envoltório de Edificações Não-residenciais**. 2008. 196 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

CASALS, Xavier García. Analysis of building energy regulation and certification in Europe: Their role, limitations and differences. **Energy and buildings**, v. 38, n. 5, p. 381-392, 2006.

CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES - CB3E. **Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. Florianópolis, 2018.

EKICI, Betul Bektas; AKSOY, U. Teoman. Prediction of building energy consumption by using artificial neural networks. **Advances In Engineering Software**, [s.l.], v. 40, n. 5, p.356-362, maio 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.advengsoft.2008.05.003>.

FOSSATI, Michele et al. Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 65, p.1216-1231, nov. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.048>.

GANHÃO, António Miguel Ganço Dias. **Construção Sustentável - Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação**. 2011. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

GANHÃO, António Miguel Ganço Dias. **Construção Sustentável-Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação**. 2011. Tese de Doutorado. FCT-UNL.

GONÇALVES, Joana Carla Soares; DUARTE, Denise Helena Silva. Arquitetura sustentável: uma integração entre ambiente, projeto e tecnologia em experiências de pesquisa, prática e ensino. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 4, p.51-81, dez. 2006.

HERNANDEZ NETO, Alberto; FIORELLI, Flávio Augusto Sanzovo. Comparison between detailed model simulation and artificial neural network for forecasting building energy consumption. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 40, n. 12, p.2169-2176, jan. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2008.06.013>.

INMETRO. **REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS**. Rio de Janeiro, 2012.

INMETRO. **REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE PARA O NÍVEL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EDIFICAÇÕES COMERCIAIS DE SERVIÇO E PÚBLICAS**. Rio de Janeiro, 2010.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **WORLD ENERGY BALANCES: OVERVIEW (2018 edition)**. Paris: Oecd Publishing, 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2017**. Paris: Oecd Publishing, 2017.

INVIDIATA, Andrea; SOUSA, Raquel Fernandes de; MELO, Ana Paula; FOSSATI, Michele; LAMBERTS, Roberto. **Análise do desempenho termo energético de habitações unifamiliares de interesse social através do método de simulação do regulamento brasileiro**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

JAFFAL, Issa; INARD, Christian. A metamodel for building energy performance. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 151, p.501-510, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.072>.

LAMBERTS, Roberto et al. Sustentabilidade nas edificações: contexto internacional e algumas referências brasileiras na área. **Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)**, 2008.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkey. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo, Brasil: PW Editores, 1997.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; RAMOS, Greici. **Impactos da Adequação Climática Sobre a Eficiência Energética e o Conforto Térmico de Edifícios de Escritórios no Brasil**. Florianópolis, 2006.

MELO, A.p. et al. Development and analysis of a metamodel to represent the thermal behavior of naturally ventilated and artificially air-conditioned residential buildings. **Energy And Buildings**, [s.l.], v. 112, p.209-221, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.021>.

MELO, Ana Paula. **DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO PARA ESTIMAR O CONSUMO DE ENERGIA DE EDIFICAÇÕES COMERCIAIS ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE REDES NEURAIS** Tese. 2012. 189 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

MENDES, Nathan et al. Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 5, n. 4, p.47-68, dez. 2005.

MOTTA, Silvio F. R.; AGUILAR, Maria Teresa P. SUSTENTABILIDADE E PROCESSOS DE PROJETOS DE EDIFICAÇÕES. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, Brasil, v. 4, n. 1, p. 88-123, maio 2009. ISSN 1981-1543. Disponível em: <<http://www.periodicos.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/50953/55034>>. Acesso em: 25 junho 2018.

OLINGER, Marcelo et al. ANÁLISE DA PRECISÃO DE METAMODELO DESENVOLVIDO PARA A AVALIAÇÃO DE EDIFÍCIOS VENTILADOS NATURALMENTE. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2017, Balneário Camboriu. **Anais...** . Balneário Camboriu: Antac, 2017. p. 632 - 641.

PROCEL. **Lei de Eficiência Energética**. 2014. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/resultadosprocel2014/lei.pdf>>. Acesso em: 24 jun. 2018.

RIOS, Gisele Auxiliadora Almeida et al. COBERTURAS DE COR BRANCA COMO ESTRATÉGIA DE REDUÇÃO DE ENERGIA E DE EMISSÕES DE CARBONO. **REVISTA DE ENGENHARIA E TECNOLOGIA**, v. 9, n. 3, p. 76-90, 2018.

SANTO, Amabeli Dell. **O IMPACTO DA JANELA NO CONFORTO TÉRMICO**: Edificações multifamiliares ventiladas naturalmente. 2014. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

SILVEIRA, Ricardo; MARINOSKI, Deivis Luis; LAMBERTS, Roberto. AVALIAÇÃO DA ABSORTÂNCIA À RADIAÇÃO SOLAR E TEMPERATURA SUPERFICIAL DE TELHAS DE FIBROCIMENTO UTILIZADAS NAS COBERTURAS DE EDIFICAÇÕES DO CAMPUS DA UFSC. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 14., 2012, Juiz de Fora. **Anais...** . [s.i.]: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2012. p. 1166 - 1170.

SIMAS, Silvana Rosado Negreiros Gadelha. **ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO DE SISTEMAS DE COBERTAS EM DEIFICAÇÕES COMERCIAIS PARA O CLIMA DE NATAL/RN VISANDO EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**. 2009. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

SOARES, Carla Patrícia Santos. **Investigação do potencial de economia de energia com o uso de dispositivos de proteção solar no Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. 2014. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

SORGATO, M. J.; MELO, A. P.; MARINOSKI, D. L.; LAMBERTS, R. Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 Para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 83-101, out./dez. 2014

SORRELL, Steve. Reducing energy demand: A review of issues, challenges and approaches. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 47, p.74-82, jul. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.002>.

VILLAREAL, Maria José Charfuelan; MOREIRA, João Manoel Losada. Household consumption of electricity in Brazil between 1985 and 2013. **Energy Policy**, [s.l.], v. 96, p.251-259, set. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2016.04.030>.

WESTPHAL, Fernando Simon; LAMBERTS, Roberto. ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UMA PROPOSTA DE RETROFIT EM UM EDIFÍCIO COMERCIAL. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2., 1999, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza: Antac, 1999.

## APENDICÊ I – Dados de Entradas das UHs

Figura 23 – Dados de entrada do apartamento 101

APP	Real		Referência	
	Estar	Quarto	Estar	Quarto
Ambiente	Sala	Dormitório	Sala	Dormitório
Vidro Norte (%)	0.0	0.0	0.0	0.0
Vidro Leste (%)	0.0	0.0	0.0	0.0
Vidro Sul (%)	36.0	24.7	25.6	16.7
Vidro Oeste (%)	0.0	0.0	0.0	0.0
Área Norte (m²)	0.00	0.00	0.00	0.00
Área Leste (m²)	4.55	4.55	4.55	4.55
Área Sul (m²)	22.55	22.55	22.55	22.55
Área Oeste (m²)	1.50	1.50	1.50	1.50
Área do Ambiente (m²)	41.27	41.27	41.27	41.27
Capacidade Térmica Parede	Média	Média	Média	Média
Transmitância Parede (W/Km²)	2.24	2.24	3.65	3.65
Capacidade Térmica Cobertura	Pesada	Pesada	Pesada	Pesada
Transmitância Cobertura (W/Km²)	0	0	0	0
Transmitância Vidro (W/Km²)	5.7	5.7	5.7	5.7
Fator Solar Vidro	0.87	0.87	0.87	0.87
Tipo do de Piso (Inércia Térmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)
Pé Direito (m)	2.91	2.91	2.91	2.91
Absortância Solar Paredes	0.16	0.16	0.6	0.6
Absortância Solar Cobertura	0	0	0	0
Tamanho Projeção (m)	0.66	0.66	0	0
Altura Pavimento (m)	1.31	1.31	1.31	1.31
Veneziana	Não	Não	Não	Não
Altura da Abertura (m)	0.115	0.115	0.115	0.115
Fator Abertura Ventilação	0.5	0.5	0.5	0.5
Pilotis	Sem	Sem	Sem	Sem
Exposição do Piso	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos
Exposição Cobertura	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos

Figura 24 - Dados de entrada do apartamento 102

APP	Real		Referência	
	Estar	Quarto	Estar	Quarto
Ambiente	Sala	Dormitório	Sala	Dormitório
Vidro Norte (%)	0.0	0.0	0.0	0.0
Vidro Leste (%)	0.0	0.0	0.0	0.0
Vidro Sul (%)	36.8	36.8	24.6	24.6
Vidro Oeste (%)	0.0	0.0	0.0	0.0
Área Norte (m²)	0.00	0.00	0.00	0.00
Área Leste (m²)	1.50	1.50	1.50	1.50
Área Sul (m²)	22.10	22.10	22.10	22.10
Área Oeste (m²)	12.80	12.80	12.80	12.80
Área do Ambiente (m²)	38.80	38.80	38.80	38.80
Capacidade Térmica Parede	Média	Média	Média	Média
Transmitância Parede (W/Km²)	2.24	2.24	3.65	3.65
Capacidade Térmica Cobertura	Pesada	Pesada	Pesada	Pesada
Transmitância Cobertura (W/Km²)	0	0	0	0
Transmitância Vidro (W/Km²)	5.7	5.7	5.7	5.7
Fator Solar Vidro	0.87	0.87	0.87	0.87
Tipo do de Piso (Inércia Térmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)
Pé Direito (m)	2.91	2.91	2.91	2.91
Absortância Solar Paredes	0.16	0.16	0.6	0.6
Absortância Solar Cobertura	0	0	0	0
Tamanho Projeção (m)	0.66	0.66	0	0
Altura Pavimento (m)	1.31	1.31	1.31	1.31
Veneziana	Não	Não	Não	Não
Altura da Abertura (m)	0.115	0.115	0.115	0.115
Fator Abertura Ventilação	0.5	0.5	0.5	0.5
Pilotis	Sem	Sem	Sem	Sem
Exposição do Piso	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos
Exposição Cobertura	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos

















Figura 31 - Dados de entrada do apartamento 301

	Real			Referência		
APP	Estar	Quarto	Suíte	Estar	Quarto	Suíte
Ambiente	Sala	Dormitório	Dormitório	Sala	Dormitório	Dormitório
Vidro Norte (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vidro Leste (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vidro Sul (%)	55.5	24.0	28.3	34.7	16.2	23.0
Vidro Oeste (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Área Norte (m²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área Leste (m²)	0.00	0.00	12.25	0.00	0.00	12.25
Área Sul (m²)	9.70	8.43	7.16	9.70	8.43	7.16
Área Oeste (m²)	0.00	1.90	0.00	0.00	1.90	0.00
Área do Ambiente (m²)	24.03	9.78	11.77	24.03	9.78	11.77
Capacidade Térmica Parede	Média	Média	Média	Média	Média	Média
Transmitância Parede (W/Km²)	2.24	2.24	2.24	3.65	3.65	3.65
Capacidade Térmica Cobertura	Pesada	Pesada	Pesada	Pesada	Leve	Leve
Transmitância Cobertura (W/Km²)	0	1.59	1.59	0	2.02	2.02
Transmitância Vidro (W/Km²)	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7
Fator Solar Vidro	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
Tipo do de Piso (Inércia Térmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)
Pé Direito (m)	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81
Absortância Solar Paredes	0.16	0.16	0.16	0.6	0.6	0.6
Absortância Solar Cobertura	0	0.35	0.35	0	0.6	0.6
Tamanho Projeção (m)	1.3	0.8	0	0	0	0
Altura Pavimento (m)	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35
Veneziana	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
Altura da Abertura (m)	0.744	0.48	0.48	0.744	0.48	0.48
Fator Abertura Ventilação	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Pilotis	Sem	Sem	Sem	Sem	Sem	Sem
Exposição do Piso	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos
Exposição Cobertura	Laje entre Pavimentos	Exposta	Exposta	Laje entre Pavimentos	Exposta	Exposta

Figura 32 - Dados de entrada do apartamento 302

	Real			Referência		
APP	Estar	Quarto	Suíte	Estar	Quarto	Suíte
Ambiente	Sala	Dormitório	Dormitório	Sala	Dormitório	Dormitório
Vidro Norte (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vidro Leste (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vidro Sul (%)	56.3	24.0	28.4	35.2	16.2	23.2
Vidro Oeste (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Área Norte (m²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área Leste (m²)	0.00	1.96	0.00	0.00	1.96	0.00
Área Sul (m²)	9.55	8.43	7.13	9.55	8.43	7.13
Área Oeste (m²)	0.00	0.00	12.25	0.00	0.00	12.25
Área do Ambiente (m²)	24.02	9.78	11.80	24.02	9.78	11.80
Capacidade Térmica Parede	Média	Média	Média	Média	Média	Média
Transmitância Parede (W/Km²)	2.24	2.24	2.24	3.65	3.65	3.65
Capacidade Térmica Cobertura	Pesada	Pesada	Pesada	Pesada	Leve	Leve
Transmitância Cobertura (W/Km²)	0	1.59	1.59	0	2.02	2.02
Transmitância Vidro (W/Km²)	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7
Fator Solar Vidro	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
Tipo do de Piso (Inércia Térmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)
Pé Direito (m)	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81
Absortância Solar Paredes	0.16	0.16	0.16	0.6	0.6	0.6
Absortância Solar Cobertura	0	0.35	0.35	0	0.6	0.6
Tamanho Projeção (m)	1.64	0	0	0	0	0
Altura Pavimento (m)	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35
Veneziana	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
Altura da Abertura (m)	0.744	0.48	0.48	0.744	0.48	0.48
Fator Abertura Ventilação	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Pilotis	Sem	Sem	Sem	Sem	Sem	Sem
Exposição do Piso	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos
Exposição Cobertura	Laje entre Pavimentos	Exposta	Exposta	Laje entre Pavimentos	Exposta	Exposta



Figura 33 - Dados de entrada do apartamento 303

	Real			Referência		
APP	Estar	Quarto	Suíte	Estar	Quarto	Suíte
Ambiente	Sala	Dormitório	Dormitório	Sala	Dormitório	Dormitório
Vidro Norte (%)	0.0	26.7	22.6	0.0	18.1	17.6
Vidro Leste (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vidro Sul (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vidro Oeste (%)	54.7	0.0	0.0	39.6	0.0	0.0
Área Norte (m²)	0.00	7.59	8.97	0.00	7.59	8.97
Área Leste (m²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área Sul (m²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área Oeste (m²)	9.83	0.00	8.43	9.83	0.00	8.43
Área do Ambiente (m²)	27.77	9.80	11.30	27.77	9.80	11.30
Capacidade Térmica Parede	Média	Média	Média	Média	Média	Média
Transmitância Parede (W/Km²)	2.24	2.24	2.24	3.65	3.65	3.65
Capacidade Térmica Cobertura	Pesada	Pesada	Pesada	Pesada	Leve	Leve
Transmitância Cobertura (W/Km²)	0	1.25	1.25	0	2.02	2.02
Transmitância Vidro (W/Km²)	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7
Fator Solar Vidro	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
Tipo do de Piso (Inércia Térmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)
Pé Direito (m)	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81
Absortância Solar Paredes	0.16	0.16	0.16	0.6	0.6	0.6
Absortância Solar Cobertura	0	0.6	0.6	0	0.6	0.6
Tamanho Projecção (m)	1.64	0	0	0	0	0
Altura Pavimento (m)	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35
Veneziana	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
Altura da Abertura (m)	0.744	0.48	0.48	0.744	0.48	0.48
Fator Abertura Ventilação	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Pilotis	Sem	Sem	Sem	Sem	Sem	Sem
Exposição do Piso	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos
Exposição Cobertura	Laje entre Pavimentos	Exposta	Exposta	Laje entre Pavimentos	Exposta	Exposta

Figura 34 - Dados de entrada do apartamento 304

	Real			Referência		
APP	Estar	Quarto	Suíte	Estar	Quarto	Suíte
Ambiente	Sala	Dormitório	Dormitório	Sala	Dormitório	Dormitório
Vidro Norte (%)	0.0	26.7	22.6	0.0	19.2	17.6
Vidro Leste (%)	61.8	0.0	0.0	44.6	0.0	0.0
Vidro Sul (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Vidro Oeste (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Área Norte (m²)	0.00	7.59	8.97	0.00	0.00	0.00
Área Leste (m²)	8.71	0.00	8.43	8.71	0.00	8.43
Área Sul (m²)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área Oeste (m²)	9.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Área do Ambiente (m²)	27.77	10.40	11.30	27.77	10.40	11.30
Capacidade Térmica Parede	Média	Média	Média	Média	Média	Média
Transmitância Parede (W/Km²)	2.24	2.24	2.24	3.65	3.65	3.65
Capacidade Térmica Cobertura	Pesada	Pesada	Pesada	Leve	Leve	Leve
Transmitância Cobertura (W/Km²)	1.59	1.25	1.25	2.02	2.02	2.02
Transmitância Vidro (W/Km²)	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7
Fator Solar Vidro	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
Tipo do de Piso (Inércia Térmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)	Alta (cerâmica)
Pé Direito (m)	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81
Absortância Solar Paredes	0.16	0.16	0.16	0.6	0.6	0.6
Absortância Solar Cobertura	0.35	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Tamanho Projeção (m)	1.64	0	0	0	0	0
Altura Pavimento (m)	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35	7.35
Veneziana	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
Altura da Abertura (m)	0.744	0.48	0.48	0.744	0.48	0.48
Fator Abertura Ventilação	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Pilotis	Sem	Sem	Sem	Sem	Sem	Sem
Exposição do Piso	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos	Laje entre Pavimentos
Exposição Cobertura	Exposta	Exposta	Exposta	Exposta	Exposta	Exposta